

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Lucie Sebešová

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Rehabilitační pomůcka s biofeedbackem
pro řízenou domácí terapii**

**Rehabilitation Device with Biofeedback for
Controlled Therapy at Home**

2017

Lucie Sebešová

Zadání bakalářské práce

Student: **Lucie Sebešová**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Rehabilitační pomůcka s biofeedbackem pro řízenou domácí terapii**
Rehabilitation Device with Biofeedback for Controlled Therapy at Home
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou biofeedbacku a rehabilitačních pomůcek pro nácvik motoriky a zlepšení rovnováhy.
2. Návrh a realizace software pro cvičení s rehabilitační pomůckou obsahující inerciální senzor s bluetooth 4 komunikací. Software musí být automaticky spouštěn na platformě Raspberry pi 2 nebo podobné. Software bude zobrazovat měřená data, ukládat je a samostatně řídit terapii na základě dříve definovaných parametrů.
3. Návrh a realizace způsobu nastavování parametrů rehabilitačního cvičení a vyhodnocení proběhlých cvičení.
4. Provedení testů.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

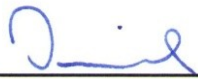
- [1] *Body Sensor Network*. Editor Guang-Zhong YANG. London (UK): Springer-Verlag, 2006. 493 s. ISBN 978-1-84628-272-0.
[2] ČERNÝ, Martin a Marek PENHAKER. *Biotelemetrie*. 1.vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1605-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Černý, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.“

Datum odevzdání bakalářské práce 28.4.2017

Lucie Abesová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Martinovi Černému za vedení práce, fyzioterapeutce Bc. Janě McNee za odbornou konzultaci v oboru fyzioterapie a mé rodině a přátelům za podporu při studiu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem aplikace na platformě Raspberry Pi pro řízenou domácí terapii na balanční rehabilitační pomůcce s biofeedbackem. Rehabilitační pomůcka obsahuje inerciální senzor s bluetooth, který umožňuje komunikaci se zařízením přijímajícím data. V práci je teoreticky rozebrána problematika týkající se biofeedbacku, senzorů používaných v rehabilitaci, dále jsou popsány balanční rehabilitační pomůcky a platforma Raspberry Pi. Práce dále obsahuje praktickou část, kde je popsána příprava a nastavení Raspberry Pi. Poté následuje návrh a realizace samotné měřicí aplikace, která zobrazuje a ukládá měřená data a řídí domácí terapii. V rámci práce je vytvořena aplikace na Windows, pomocí které se nastavují parametry cvičení a zobrazují se výsledky cvičení. Přenos parametrů cvičení a následně přenos naměřených dat se uskutečňuje pomocí automatizovaného programu, který k přenosu využívá flash disk. Závěr práce je věnován návrhu pro další inovace vytvořených aplikací.

Klíčová slova

Rehabilitace, biofeedback, Raspberry Pi, bluetooth, akcelerometr, inerciální senzor

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of an application for controlled home therapy with a balance rehabilitation device with biofeedback for the Raspberry Pi platform. The rehabilitation device includes an inertial sensor with Bluetooth, which enables communication with a certain data accepting device. The thesis introduction contains analysis of biofeedback and sensors which are used in rehabilitation. Balance rehabilitation devices are described further in the next part as well as the Raspberry Pi platform. The next section of the thesis contains an experimental part which describes the preparation and setup of the Raspberry Pi. The following part describes the actual design and execution of the measuring application which displays and saves measured data and controls home therapy. The thesis also describes the application for Windows by which exercise parameters are set and the measured data is visualized. The transfer of the exercise parameters and measured data transfer is done by using an automated program which is using a flash disk for the transfer. The conclusion of the thesis discusses ideas for innovation of the created applications.

Key words

Rehabilitation, biofeedback, Raspberry Pi, bluetooth, accelerometer, inertial sensor

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých symbolů a zkratk | 6 |
| Seznam obrázků | 7 |
| Úvod | 8 |
| 1 Biofeedback | 9 |
| 1.1 Biofeedback a rehabilitace | 9 |
| 2 Senzory ve fyzioterapii | 13 |
| 2.1 Tenzometrické senzory | 13 |
| 2.2 Elektrogoniometrické senzory | 13 |
| 2.3 Inerciální senzory | 13 |
| 2.3.1 Akcelerometry | 14 |
| 2.3.2 Gyroskopy | 14 |
| 2.3.3 Magnetometry | 15 |
| 3 Rehabilitační pomůcky | 16 |
| 3.1 Balanční pomůcky a rehabilitace | 16 |
| 3.2 Typy balančních pomůcek | 16 |
| 3.2.1 Balanční kulové úseče | 17 |
| 3.2.2 Balanční válcové úseče | 17 |
| 3.2.3 Vzduchové úseče | 18 |
| 4 Raspberry Pi | 19 |
| 4.1 Operační systém Raspberry Pi | 19 |
| 4.2 Modely Raspberry Pi | 20 |
| 5 Příprava a nastavení Raspberry Pi | 21 |
| 5.1 Tlačítko pro vypnutí Raspberry Pi | 22 |
| 5.2 Balíček BlueZ | 22 |
| 5.3 Hodiny reálného času | 23 |
| 6 Návrh a realizace aplikace FlashService a TherapeutRasp | 25 |
| 6.1 FlashService | 26 |
| 6.2 TherapeutRasp | 27 |
| 6.2.1 Přenos dat ze senzoru do Raspberry | 30 |
| 6.2.2 Měření na Raspberry Pi | 31 |
| 6.2.3 Zobrazování dat | 32 |
| 7 Programy pro nastavování rehabilitace a zobrazení dat v osobním počítači | 36 |
| 7.1 Popis programů cvičení | 27 |
| 7.2 Nastavení parametrů | 36 |
| 7.3 Zobrazení výsledků | 37 |
| 8 Testování aplikací | 38 |
| 9 Závěr | 40 |
| Použitá literatura | 42 |
| Seznam příloh | 45 |

Seznam použitých symbolů a zkratek

| | |
|----------|------------------------------|
| ACM | Abstract Control Model |
| BCM | Broadcom |
| BLE | Bluetooth Low Energy |
| CC2540 | Označení mikrokontroleru |
| EMG | Elektromyografie |
| GB | Gigabyte |
| GND | Uzemnění |
| GPIO | General-purpose input/output |
| HDMI | High-Definition Multi-media |
| I2C | Inter-Integrated Circuit |
| MAC | Media Access Control |
| MHz | Megahertz |
| OS | Operační systém |
| RAM | Operační paměť |
| RTC | Hodiny reálného času |
| SD | Secure Digital |
| USB | Universal Serial Bus |
| V | Volt |
| Mm | Milimetr |
| Ms | Milisekunda |
| S | Sekunda |
| A | Úhel naklonění |
| Γ | Úhel |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Kategorie biofeedbacku [7] | 9 |
| Obr. 2 Cvičení ramene s biofeedbackem [3] | 10 |
| Obr. 3 Ukázka not s příslušnými signály z prstových senzorů [4] | 11 |
| Obr. 4 Brain port [8] | 12 |
| Obr. 5 Znárodnění směřů šesti stupňů volnosti [36 upraveno] | 14 |
| Obr. 6 Gyroskop [35] | 15 |
| Obr. 7 Balanční kulová úseč [7]..... | 17 |
| Obr. 8 Balanční válcová úseč [29]..... | 17 |
| Obr. 9 Balanční podložka (vzduchová úseč) [30] | 18 |
| Obr. 10 Popis Raspberry Pi 2 Model B [37 upraveno] | 19 |
| Obr. 11 Diagram aktivit skriptu pro funkci tlačítka | 22 |
| Obr. 12 RTC modul | 23 |
| Obr. 13 Sekvenční diagram Raspberry a senzoru | 25 |
| Obr. 14 Diagram aktivit programu FlashService | 27 |
| Obr. 15 Diagram uživatelských aktivit při přenosu dat na a z Raspberry Pi..... | 27 |
| Obr. 21 Kruhová úseč (pohled ze strany)..... | 28 |
| Obr. 22 Kruhová úseč (pohled shora) | 28 |
| Obr. 23 Příprava u programu Rovnováha..... | 29 |
| Obr. 24 Program Rovnováha | 29 |
| Obr. 25 Příprava u programu Kříž..... | 30 |
| Obr. 26 Program Kříž | 30 |
| Obr. 16 Inicializace připojení | 31 |
| Obr. 17 Příklad cyklu dat | 31 |
| Obr. 18 Diagram aktivit aplikace na Raspberry..... | 32 |
| Obr. 19 Výpočet souřadnic bodu..... | 34 |
| Obr. 20 Use case aplikace terapeuta | 36 |
| Obr. 27 Zobrazení výsledků | 37 |
| Obr. 28 Zobrazení dat v aplikaci Terapeut, vlevo stará verze, vpravo po úpravě | 39 |

Úvod

Rehabilitace v klinickém prostředí může být pro někoho stresující nebo špatně dostupná, proto se směřuje k jejímu umístění do domácího prostředí. Pro lepší představu o účinnosti a správném cvičení se rozšířil trend biofeedbacku, který umožňuje pacientům i lékařům zefektivnit léčbu a urychlit její vývoj. Tato bakalářská práce je zaměřena na vytvoření aplikace, která bude sloužit jako průvodce cvičením s balanční rehabilitační pomůckou v domácím prostředí.

Je vytvořen program pro fyzioterapeuta, *Therapeut*, sloužící k nastavení parametrů cvičení a informací o pacientovi. V něm se také zobrazují výsledky cvičení. Jádrem práce je program *TherapeutRasp* na platformu *Raspberry Pi*, který komunikuje s rehabilitační pomůckou, ve které je zabudován inerciální senzor pro snímání pohybů rehabilitační pomůcky. Průběh cvičení se zobrazuje na obrazovce a výsledky se ukládají do paměti *Raspberry Pi* pro další zpracování fyzioterapeutem. Přenos dat mezi jednotlivými programy je řešen pomocí flash disku.

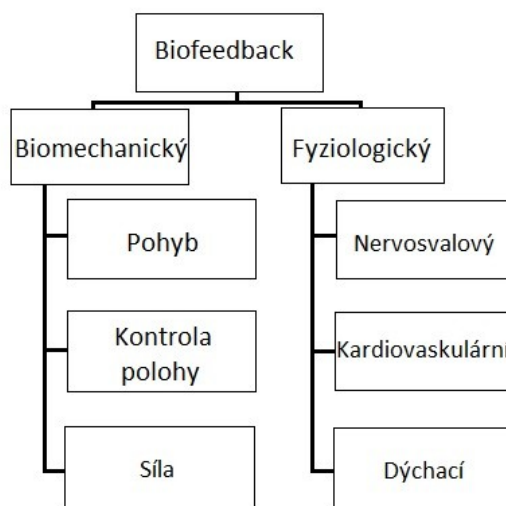
Pro získání představy o výhodách takového programu a pochopení problematiky jsou v první části popsána jednotlivá témata. V první kapitole je vysvětlen princip biofeedbacku a jeho využití. Dále jsou popsány senzory využívané ve fyzioterapii. V případě této práce se jedná o měření polohy a pohybu, jsou proto popsány inerciální senzory. Další kapitola je zaměřena na popis rehabilitačních pomůcek. Popsány jsou hlavně balanční rehabilitační pomůcky, protože program je vytvořen pro práci právě s balanční rehabilitační pomůckou. Na to navazuje popis balančních cvičení, která jsou v této práci řešena. Na konci teoretické části je popsána platforma *Raspberry Pi*, na které program pro rehabilitaci běží.

V kapitolách 5-8 je popsána praktická část. Kapitola 5 obsahuje přípravu a nastavení *Raspberry Pi*. Popisuje všechny nezbytné úkony pro správnou a plynulou činnost programů, které jsou popsány v dalších kapitolách. Následující kapitoly jsou zaměřeny na realizaci samotných aplikací. V kapitole 6 je vysvětlen princip programu *FlashService*, který zajišťuje přenos dat mezi aplikacemi *Therapeut* a *TherapeutRasp* pomocí flash disku. Dále je popsána aplikace *TherapeutRasp*, zobrazení dat ze senzoru na obrazovce a jeho softwarové řešení. Aplikace *Therapeut*, její uživatelské prostředí a hardwarové ovládání, je popsána v kapitole 7. Je zde vysvětleno zadávání parametrů a zobrazování výsledků. Pro ověření správné funkce všech vytvořených programů a jejich doladění bylo provedeno testování, které popisuje kapitola 8.

1 Biofeedback

Biofeedback neboli biologická zpětná vazba – termín byl poprvé použit v roce 1969 americkým psychologem a parapsycholem Gardnerem Murphym (1890-1975). Je to metoda, která umožňuje zobrazit funkce centrální nebo autonomní nervové soustavy, tělesnou teplotu, krevní tlak apod. Cílem je získat určitou kontrolu funkce. Pacienti se učí jak reagovat na tyto funkce a dosáhnout požadovaného výsledku, což může být např. svalová relaxace nebo správné dýchání. Biofeedback se mj. používá k léčení zdravotních stavů jako hypertenze a chronická úzkost. [1][2]

Biofeedback můžeme rozdělit do dvou skupin – fyziologický biofeedback a tzv. biomechanický biofeedback (Obr. 1 Kategorie biofeedbacku). Za fyziologický biofeedback je považován ten, který vzniká na podkladě fyziologických systémů, jako je nervosvalový, dýchací nebo kardiovaskulární. Na druhou stranu biomechanický biofeedback zahrnuje měření pohybu, posturální kontroly a síly. [7]



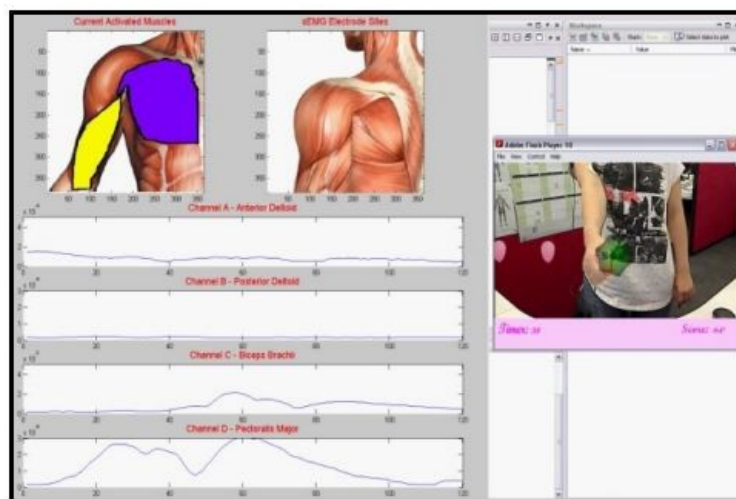
Obr. 1 Kategorie biofeedbacku [7]

1.1 Biofeedback a rehabilitace

Pokud jde o rehabilitaci, má biofeedback široké využití. Jedná se například o rehabilitaci po kraniocerebrálním poranění, poranění míchy nebo cévní mozkové příhodě. K nácviku stability je biofeedback využíván už řadu let. Předpokládá se, že biofeedback podporuje multisenzorickou (zrakovou, proprioceptivní a vestibulární) stimulaci, čímž dochází k urychlení kompenzačního procesu. Jedním z využívaných systémů je vizuální zpětná vazba.

Existuje řada zařízení využívající toto rozšíření rehabilitace. Většinou se využívá vizuální nebo zvukové zpětné vazby. V případě rehabilitace ramene můžeme narazit na systém založený na cvičení ramenních kloubů s biofeedbackem. Skládá se ze dvou modulů: rehabilitační modul, kde jsou jednotlivá rehabilitační cvičení, a modul, který simuluje

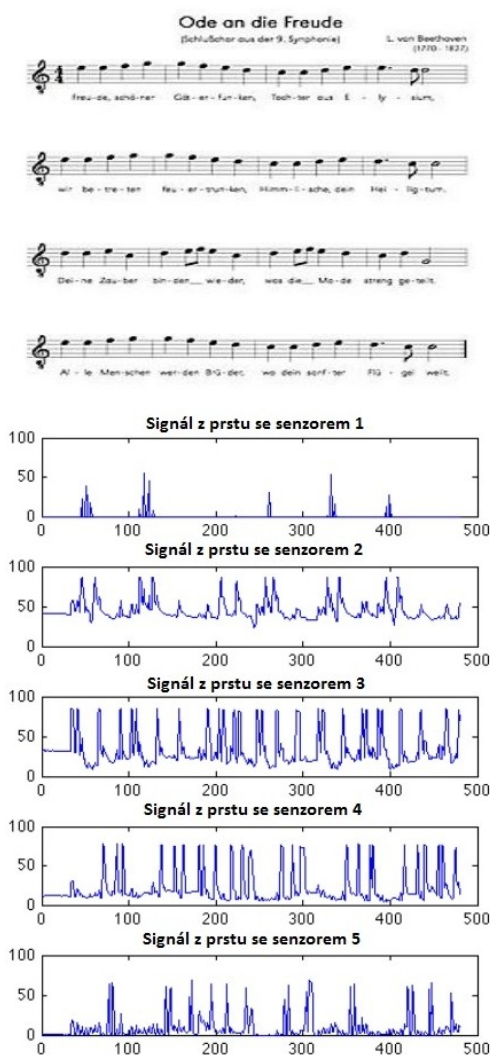
biofeedback v reálném čase tak, že detekuje aktivní sval na základě předdefinované prahové úrovně EMG. Výsledný biofeedback můžeme vidět na Obr. 2. [3]



Obr. 2 Cvičení ramene s biofeedbackem [3]

Další možností, kde využít biofeedback je rehabilitace ruky a prstů. Na procvičení těchto částí těla se ukázaly vhodné hudební nástroje. Z toho vychází systém pracující na základě pianu. Tento systém se skládá z tzv. data rukavic a řídicího softwaru. Signál s daty z rukavic ohledně pohybu a polohy prstu je přenášén přes WiFi do počítače. Software vyhodnocuje chyby, dále která klávesa byla stisknuta a na jak dlouho. Systém poskytuje vizuální i zvukovou zpětnou vazbu. Na Obr. 3 je vidět notový part a pod ním průběhy signálů z jednotlivých senzorů na prstech. [4]

V případě posturální rehabilitace je vytvořena práce zaměřená na použití zařízení Microsoft-KinectTM. Doposud bylo toto zařízení především využito pro zábavní použití pro Xbox. Kinect obsahuje infračervenou kameru a videokameru, pomocí kterých vytváří 3D mapu prostředí před nimi a automaticky umožňuje určit anatomické orientační body na těle, například klouby, téměř v reálném čase. V rehabilitačním systému byla vytvořena vizualizace pacienta a rehabilitační místnosti. Pacient se při cvičení dívá na pozici a pohyby svého těla na obrazovce. Při špatné poloze je pacient upozorněn obrazovým nebo zvukovým alarmem. [5]



Obr. 3 Ukázka not s příslušnými signály z prstových senzorů [4]

V souvislosti s rehabilitací posturální stability můžeme narazit i na systém brain port (Obr. 4). Tento systém využívá elektrotaktilní stimulaci jazyka, což informuje pacienta o poloze hlavy. Jedná o akcelerometr, který převádí informace o poloze hlavy na elektrické impulsy. Ty potom pacient vnímá na jazyku. Pomocí taktilních receptorů je schopen určit polohu elektrického signálu. Cílem terapie je udržet signál ve střední části jazyka. Toto se využívá u periferních postižení labyrintu i u centrálních poruch stability. [4][7]



Obr. 4 Brain port [8]

Systémy využívají různé typy senzorů. Tyto senzory jsou popsány v následujících kapitolách.

2 Senzory ve fyzioterapii

K získání biofeedbacku a zkvalitnění rehabilitace se využívá několik typů senzorů. Jedná se například o tenzometrické, elektrogoniometrické nebo inerciální senzory.

2.1 Tenzometrické senzory

Tenzometry měří jednotlivé složky a momenty tlakových sil člověka. Existují tenzometrické plošiny, které mají tenzometry umístěné v rozích. Z hodnot, které se naměří, je možné vypočítat polohu působíště výsledné tlakové síly. Poloha je určena souřadnicemi x a y , pohyb pak můžeme zobrazit v reálném čase na monitoru. Tím pacient dostává možnost vidět aktuální polohu těla a tím lépe regulovat posturální reakce a udržet stabilní postoj. [4][7]

2.2 Elektrogoniometrické senzory

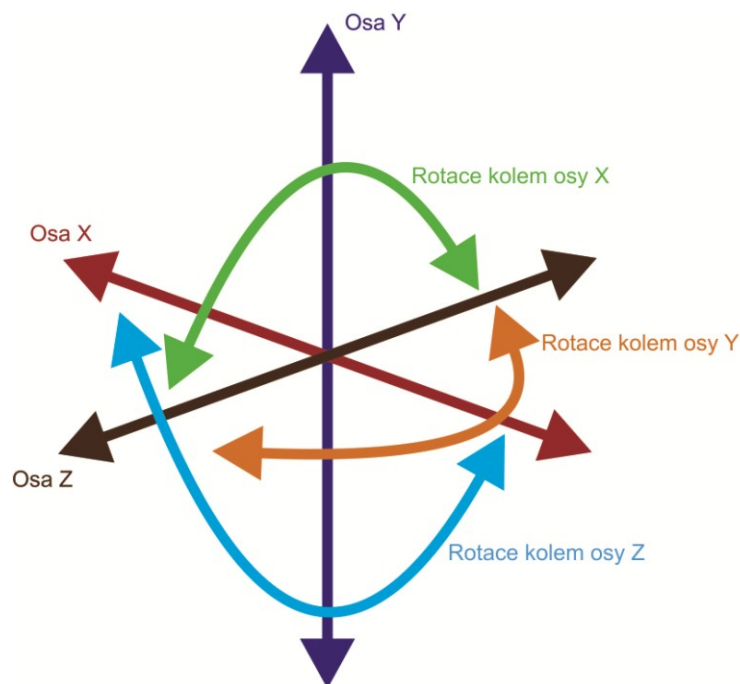
Elektrogoniometry jsou zařízení, která slouží k přímému měření úhlů (nejčastěji kloubů) [20]. Při změně pohybu kloubu je zaznamenán zvukový nebo vizuální alarm. Např. Ceceli a kol. analyzovali účinnost poskytnutí kinematického biofeedbacku kolene pomocí elektrogoniometrie ve srovnání s konvenční fyzioterapií při snaze minimalizovat genua recurvata¹. Při použití kinematického biofeedbacku se ukázal staticky významný pokles počtu kolenních hyperextenzí ve srovnání s těmi, kteří obdrželi pouze konvenční rehabilitaci. [7]

2.3 Inerciální senzory

Další systémy pracují na principu snímání změny polohy těla pomocí inerciálních senzorů. Obsahem těchto senzorů jsou: akcelerometr, gyroskop a magnetometr. Měří se velikost zrychlení, úhlová rychlost a magnetické pole a jejich směry. Kombinaci těchto údajů lze použít pro velmi přesné odvození polohy daného objektu, který senzor obsahuje.

Změna polohy je výsledek pohybu tělesa. Pozici bodu nebo tělesa vůči jinému bodu určujeme pomocí souřadnicového systému a polohových vektorů jednotlivých bodů tělesa. Důležitým konceptem pro charakteristiku pohybu a jeho stavu v třírozměrném prostoru je koncept stupňů volnosti pohybu. Hmotný bod má tři stupně volnosti (pohyb podél os x , y , z), v případě, že je vázaný na plochu, má pouze dva stupně volnosti. Pro body a tělesa platí tři vzájemně kolmé osy a rotace kolem těchto os. Z toho lze odvodit, že dohromady je stupňů volnosti celkem šest. Koncept je tedy ukazatelem vlastností dané mechanické struktury (robotické manipulační systémy, popis biomechaniky...), které nám umožňují další práci s nimi. (Obr. 5) [21][22]

¹ lat. prohnutá kolena, hyperextenze v kolenním kloubu tj. úhel přes 180 měřeno v podkolenní jamce [18]



Obr. 5 Znárodnění s měřů šesti stupňů volnosti [36]

2.3.1 Akcelerometry

Jedná se o senzory, které umožňují měření statického a dynamického zrychlení. Statickým zrychlením rozumíme působení tíhové síly. Dynamické zrychlení je zrychlení, které vzniká působením síly mající za následek změnu rychlosti tělesa. Akcelerometry mají široké spektrum využití. [23][24]

Příklady konkrétního užití:

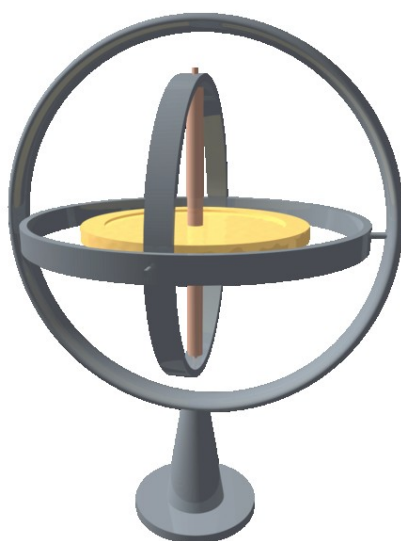
- Fyzioterapie – rehabilitační a diagnostické pomůcky
- Geofyzika – měření a detekce seismické aktivity
- Automobilový průmysl – airbag, systémy jízdní stability
- Strojírenství – měření vibrací, měření natočení a detekce otáčení

[25]

Malé rozměry senzorů se využívají mj. ve fyzioterapii, kdy se senzor připevňuje přímo na tělo pacienta. Jsou umístěny buď na trupu (v blízkosti polohy těžiště těla) nebo na hlavě (blízko vestibulárního labyrintu). Zpětnovazebným signálem tohoto typu systémů je vibrační stimulace mechanoreceptorů na povrchu těla. Pacient je vibracemi upozorněn ve chvíli, kdy poloha senzoru překročí určitou mez a hrozí riziko pádu. [4][26]

2.3.2 Gyroskopy

Gyroskop je setrvačník, který se otáčí v ložiscích. Jeho osa bez působení vnějších sil udržuje stále stejný směr. Obvykle je uložen v Cardanovém závěsu, který mu umožňuje volný pohyb ve všech třech osách. Využívá se např. v dopravě, letectví, astronomii. [32][33]



Obr. 6 Gyroskop [35]

2.3.3 Magnetometry

Přístroje, které slouží k měření intenzity magnetického pole a magnetických vlastností materiálů. Dělí se na vektorové a skalární magnetometry. Vektorové magnetometry měří velikost a směr magnetického pole. Skalární magnetometry měří pouze magnetickou indukci bez ohledu na směr. Magnetometry mají mnoho různých použití. Jednou z hlavních aplikací je měření a mapování magnetických polí na zemi i ve vesmíru. Dále jsou využívány v geofyzice nebo jako detektory kovů.[34]

3 Rehabilitační pomůcky

V současné době existuje mnoho druhů rehabilitačních pomůcek. Výběr pomůcky samozřejmě závisí na charakteru onemocnění nebo postižení pacienta. Například při nedostatku pohybu dochází ke vzniku tzv. svalových dysbalancí – jedna skupina svalu se oslabí a druhá se zkrátí. Jako příklad můžeme uvést oblast dolní části zad: ke vzniku lumbalgie² dochází při zkrácení paravertebrálních svalů, m. iliopsoas a quadratus lumborum a oslabení břišních, gluteálních svalů a zejména oslabení tzv. hlubokého stabilizačního systému (součástí je např. m. transversus abdominis, mm. multifidi, diaphragma...). K odstranění bolesti je třeba tuto svalovou dysbalanci odstranit – posílit oslabené svalstvo a snížit napětí ve zkrácených svalech. K tomu se ve fyzioterapii využívá různých metodik a postupů, mezi které patří i využití balančních pomůcek. [10][27][28]

3.1 Balanční pomůcky a rehabilitace

Balanční pomůcky se používají především pro trénink rovnováhy - zvýšení propriocepce³, posílení hlubokého stabilizačního systému. Při cvičení na těchto pomůckách je nezbytná správná postura a stabilita (pro tu je důležitá propriocepce, svalová síla a schopnost reagovat na měnící se podmínky labilního prostředí). [28]

Rovnováhu lze ovlivnit i šířkou báze těla, tzn. těžší je postoj s nohama u sebe a naopak je jednodušší stoj rozkročný. Když přidáme upažení rukou, schopnost udržet rovnováhu se opět zvětší. Dále můžeme rovnováhu ovlivnit pohybem části těla – rukou (pohyby do stran, házení balonem,...), otáčení hlavou, podřepy, přešlapování, apod. [28]

Balanční pomůcky jsou prostorově nenáročné. Pacient si je může pořídit i domů a mezi pacienty jsou většinou oblíbené – zábavné. Nevýhodou je však důležitost koncentrace pacienta a striktní dodržení správné polohy kloubů během cvičení, což ne každý pacient zvládá. Pokud by pacient stál v nesprávném postoji, který spočívá v anteverzi pánve (její naklopení dopředu) a s tím spojenou hyperlordózou bederní páteře (zvětšené prohnutí), docházelo by k prohloubení výše popsané svalové dysbalance a zhoršení potíží. [27][28]

Důležité je také vybrat vhodnou balanční pomůcku a vhodné cviky pro pacienta. Příliš těžká verze balanční pomůcky (např. kruhová úseč je těžší než válcová) v kombinaci s příliš těžkými cviky, při kterých se pacient nestíhá soustředit na správnou posturu, opět prohlubuje svalovou dysbalanci a tedy i pacientovy potíže. Až pokud zvládne určitou polohu, můžou se zvolit těžší cviky, jiná balanční pomůcka atd. [10]

3.2 Typy balančních pomůcek

Existují různé typy balančních pomůcek. Od nejjednodušších jako je balanční podložka, přes balanční čočky, propriofoot, bosu, válcové úseče až po kruhovou úseč jako jednu z nejtěžších variant. [12]

² bolest v bederní části zad

³ schopnost nervového systému zaznamenávat změny, které vznikají ve svalech a uvnitř těla na základě pohybu a svalové činnosti

3.2.1 Balanční kulové úseče

Balanční úseče, neboli točny, vznikly v padesátých letech 20. století v USA podnázvem „wobble board”. V současnosti existují v různých verzích podle účelu, tvaru, velikosti apod. Nejčastěji se vyrábějí ze dřeva nebo z plastu. Vrchní část úseče má neklouzavý povrch, který může být hladký nebo s akupresurními výstupky. Spodní část má tvar polokoule. Díky tomu je umožněn pohyb do všech stran.[12]

Balanční kulové úseče se používají k náročnějšímu cvičení při poúrazových stavech hlezna, kolena nebo kyčlí. Při těchto cvičeních se pacient přidržuje po obou stranách těla, aby neuklouzl.[10][12]

Cvičení je vhodné také pro zlepšení či udržení smyslu pro rovnováhu. Pokud jedinec postrádá stabilitu ve stoji, chůzi, při vstávání nebo otáčení se. [12]



Obr. 7 Balanční kulová úseč [11]

3.2.2 Balanční válcové úseče

Další možností balanční pomůcky je válcová úseč. Je podobná kulové úseči, ale je stabilnější a proto je vhodnější ji použít při seznamování s labilními plochami. Vyrábějí se opět ze dřeva nebo plastu, vrchní část je protiskluzová, spodní část je v tomto případě válcová. Válec může mít různý poloměr a naléhá ve střední čáře k podlaze. [12][29]



Obr. 8 Balanční válcová úseč [29]

3.2.3 Vzduchové úseče

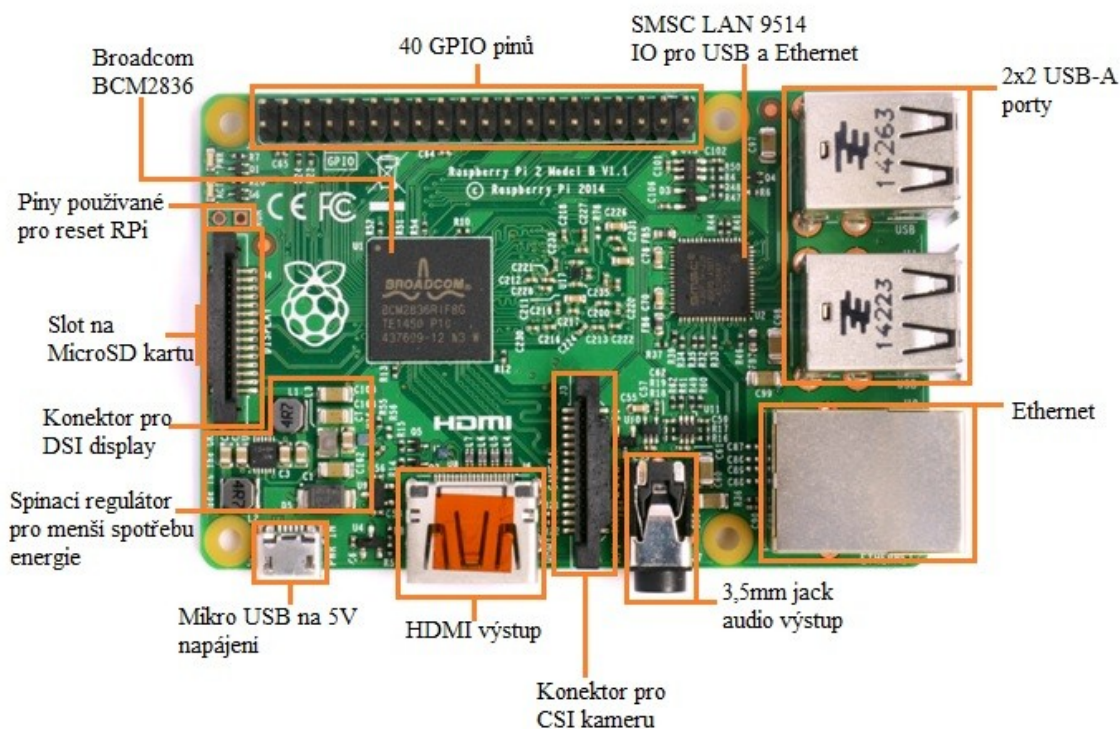
Pokud jde o balanční úseče, můžeme se setkat i se vzduchovými úsečemi. V podstatě se jedná o podložky kruhového nebo oválného tvaru, které jsou naplněné vzduchem. To zvyšuje jejich nestabilitu ve všech směrech. Vyrábějí se z měkkého plastu, svrchní část má protiskluzový povrch. Jsou opatřeny ventilkem pro regulaci vzduchu, díky čemuž můžeme řídit větší či menší nahuštění a tím nastavit obtížnost cvičení. [12][31]



Obr. 9 Balanční podložka (vzduchová úseč) [30]

4 Raspberry Pi

Raspberry Pi je počítač s rozměry 85 mm x 56 mm. Má HDMI výstup a USB rozhraní, a proto ho můžeme zapojit k monitoru nebo k televizi a můžeme k němu připojit klávesnici a myš. Součástí jsou také konektory pro kameru a pro display, Ethernetový vstup a 40 GPIO pinů. Má také výstup na 3,5 mm jack konektor a slot na micro SD kartu. Na kartě je nainstalován operační systém, kterým je Linux. Napájení je 5V přes mikro USB. [13]



Obr. 10 Popis Raspberry Pi 2 Model B [37]

4.1 Operační systém Raspberry Pi

Operačním systémem je Linux, respektive Raspbian. Jednou z distribucí Linuxu je Debian, na kterém je systém Raspbian založen. Raspbian je systém optimalizovaný pro hardware Raspberry Pi.

Na Raspberry Pi samozřejmě můžeme nainstalovat i Windows. Avšak jedná se o složitější proces a zařízení funguje pomaleji. [14] [15]

4.2 Modely Raspberry Pi

V současné době jsou k dispozici tyto modely:

- Pi 3 Model B
- Pi 2 Model B
- Pi 1 Model B+
- Pi 1 Model A+

Pi 1 Model A+ je nejlevnější varianta. Má 256 MB paměť RAM, jeden USB port, 40 GPIO pinů a nemá port pro Ethernet.

Pi 1 Model B+ je nejvyšší model původních Raspberry Pi. Má 512 MB paměť RAM, 4 USB porty, 40 GPIO pinů a port pro Ethernet.

V únoru 2015 vyšla druhá generace Raspberry Pi – Pi 2 Model B. Tento model má mnoho společného s Pi 1 Model B+, ale využívá procesor ARM se čtyřmi jádry typu Cortex-A7 na frekvenci 900 MHz a má 1 GB paměť RAM. Tyto modely jsou plně kompatibilní s modely první generace. [16]

V únoru 2016 vyšla třetí generace s názvem Pi 3 Model B. Tento typ má oproti Pi 2 Modelu B navíc bezdrátové připojení k internetu, bluetooth 4.1 a Bluetooth Low Energy.

5 Příprava a nastavení Raspberry Pi

Pro správnou funkci Raspberry a umožnění korektního chodu softwaru bylo třeba dodat několik dílčích částí. První část spočívala v instalaci emulátoru, aby bylo možné spustit soubory .exe. Aplikace jsou vytvořeny v prostředí Microsoft Visual Studio, v programovacím jazyce C#. Z toho důvodu bylo zapotřebí nainstalovat na Raspberry Pi .NET implementaci Mono, která je k dispozici zdarma na internetu.

Raspberry Pi nemá v základu možnost hardwarového vypnutí. Možnosti vypnutí jsou pouze přes uživatelské prostředí nebo příkazový řádek a na obě tyto možnosti jsou potřeba přídavné zařízení jako myš nebo klávesnice. Vzhledem k tomu, že programy na Raspberry jsou navrženy tak, aby byl uživatelský zásah naprosto minimální a nebyla potřeba žádných přídavných zařízení, bylo zařízení doplněno o vypínací tlačítko.

Jelikož se přenos dat uskutečňuje přes bluetooth, musel být na Raspberry doinstalován SW balíček, který poskytuje podporu bluetooth protokolů. Dále bylo potřebné dokoupit modul hodin reálného času, který dodá Raspberry reálný čas, aby bylo možné vyčíst data i čas, ve kterém byla naměřena.

Automatický chod všech potřebných programů a aplikací umožňuje skript, který je spuštěn po zapnutí Raspberry Pi. Ten obsahuje příkazy pro spuštění jednotlivých částí:

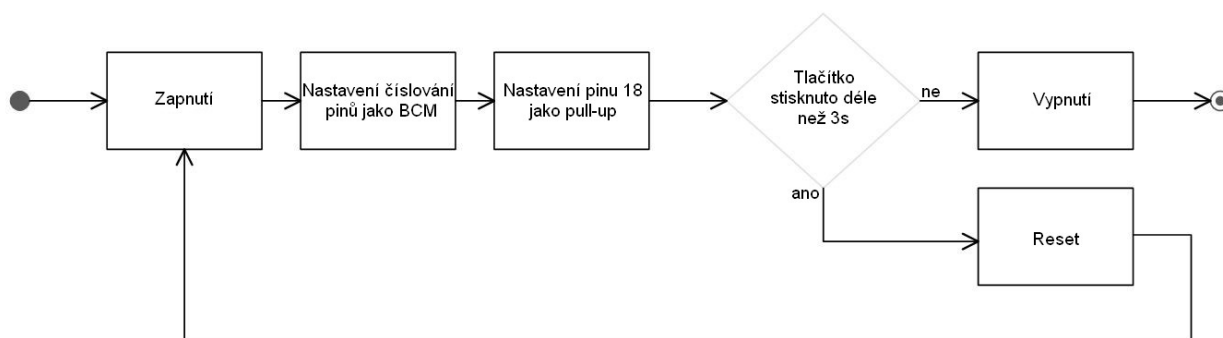
```
„sudo python /home/pi/Scripts/shutdown_pi.py & cd /home/pi/shared/bin mono  
FlashService.exe & mono TherapeutRasp.exe”
```

kde:

| | |
|--|--|
| <code>sudo python /home/pi/Scripts/shutdown_pi.py</code> | zapnutí skriptu ovládajícího tlačítko |
| <code>cd /home/pi/shared/bin</code> | změna aktuální složky na složku obsahující požadované spustitelné programy |
| <code>mono FlashService.exe</code> | spuštění programu FlashService, viz 6.1 |
| <code>mono TherapeutRasp.exe</code> | spuštění aplikace cvičení na Raspberry Pi, viz 6.2 |

5.1 Tlačítko pro vypnutí Raspberry Pi

Pro jednodušší a bezpečnější zacházení je Raspberry Pi doplněno o tlačítko, které umožňuje Raspberry vypnout nebo restartovat. Tlačítko je připojeno na GPIO pin 18 a GND. Funkce tlačítka je zajištěna skriptem vytvořeným přímo na Raspberry Pi v programovacím jazyce Python. Skript umožňuje dvojí funkci tlačítka – vypnutí nebo reset Raspberry. Po stisknutí tlačítka se Raspberry vypne, po podržení delším než 3 sekundy se zařízení resetuje. Reset je zapotřebí například v případech, kdy nedojde k připojení senzoru. V tu chvíli je třeba zkontrolovat senzor a resetovat Raspberry.



Obr. 11 Diagram aktivit skriptu pro funkci tlačítka

Funkce je napsána tak, že předpokládá nastavení GPIO pinů jako pull-up. Raspberry Pi má interní pull-up a pull-down rezistory, které je možno povolit při nastavování pinů. V případě tlačítka pull-up to znamená, že pokud není stisknuto je na pinu logická 1 (HIGH), při stisknutí tlačítka je na pinu logická 0 (LOW). Nastavení pull-up nebo pull-down je součástí příkazu pro nastavení pinů na vstup/výstup.

```
„GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(18, GPIO.IN, pull_up_down = GPIO.PUD_UP) ”
```

Prvním příkazem se nastavuje číslování pinů. BCM znamená číslování podle výstupu pinů z procesoru. Druhým příkazem nastavujeme pin 18 jako vstup s pull-up rezistorem. Pomocí podmínky se dále zjišťuje, jakou dlouhou dobu bylo tlačítko stisknuto. Pokud je doba delší než 3 sekundy, vyvolá se příkaz pro resetování Raspberry:

```
„'shutdown', '-r', 'now' ”
```

Pokud doba nepřesáhla určenou dobu, je vyvolán příkaz pro vypnutí:

```
„'shutdown', '-h', 'now' ”
```

Pro vyvolání dané činnosti při sepnutí tlačítka slouží příkaz „GPIO.add_event_detect()”.

5.2 Balíček BlueZ

Na internetu je k dispozici balíček BlueZ, díky kterému se na Raspberry doinstaluje softwarová podpora pro bluetooth. Na příslušném Raspberry je nainstalována verze 5.4.

Aby vše správně fungovalo, musely být dodány náležité knihovny, které BlueZ využívá. Toho se docílí příkazem:

```
„sudo apt-get install libusb-dev libdbus-1-dev libglib2.0-dev automake libudev-dev  
libical-dev libreadline-dev”.
```

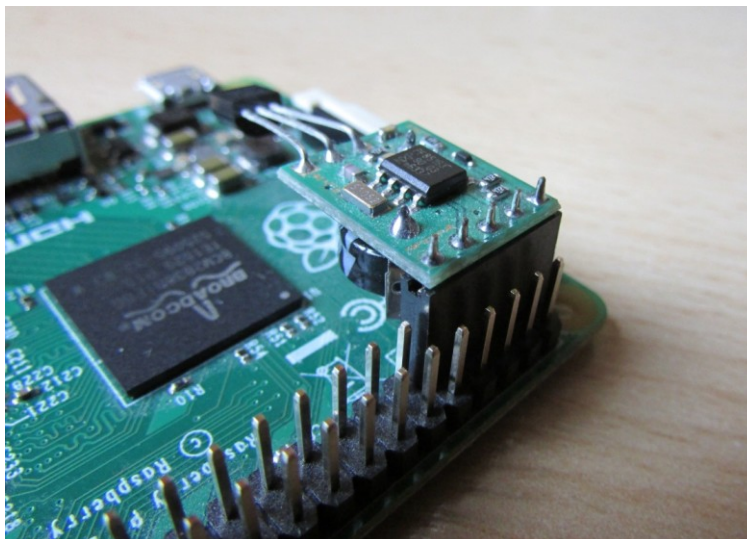
Jakmile jsou nainstalovány knihovny, může se instalovat balíček. Jako první se musí BlueZ stáhnout, poté může být nainstalován a zkompilován. K tomu slouží příkazy:

| | |
|---|----------------------------|
| <code>wget http://www.kernel.org/pub/linux/bluetooth/bluez-5.40.tar.xz</code> | stažení balíčku BlueZ |
| <code>tar xvf bluez-5.40.tar.xz</code> | rozbalení balíčku |
| <code>cd bluez-5.40</code> | vstup do složky bluez |
| <code>./configure</code> | spuštění konfiguračního |
| <code>skriptu</code> | |
| <code>make</code> | start kompilace |
| <code>sudo make install</code> | instalace balíčku |

5.3 Hodiny reálného času

Pro získání reálného času musel být dokoupen modul hodin reálného času RTC-Temp (dále RTC), který je běžně k zakoupení.[38] RTC modul využívá I²C protokol pro komunikaci s Raspberry. I²C umožňuje Raspberry komunikovat s různými zařízeními, které jsou připojeny na I²C piny na Raspberry.

RTC modul byl připojen na GPIO piny viz Obr. 12.



Obr. 12 RTC modul

RTC je obvod reálného času s externím čidlom teploty. Uchováva datum a čas i po vypnutí Raspberry a umožňuje jeho znovunačtení po opětovném zapnutí.

Po hardwarovém zapojení bylo třeba nakonfigurovat Raspberry tak, aby rozpoznalo modul a mohlo ho používat. Pro zjištění, zda Raspberry modul detekuje, slouží příkaz:

```
"sudo i2cdetect -y 1".
```

Po zkontrolování se mohlo přejít k nastavení hodin reálného času. Následovala série příkazů pro vložení RTC do jádra a nainstalování nového zařízení:

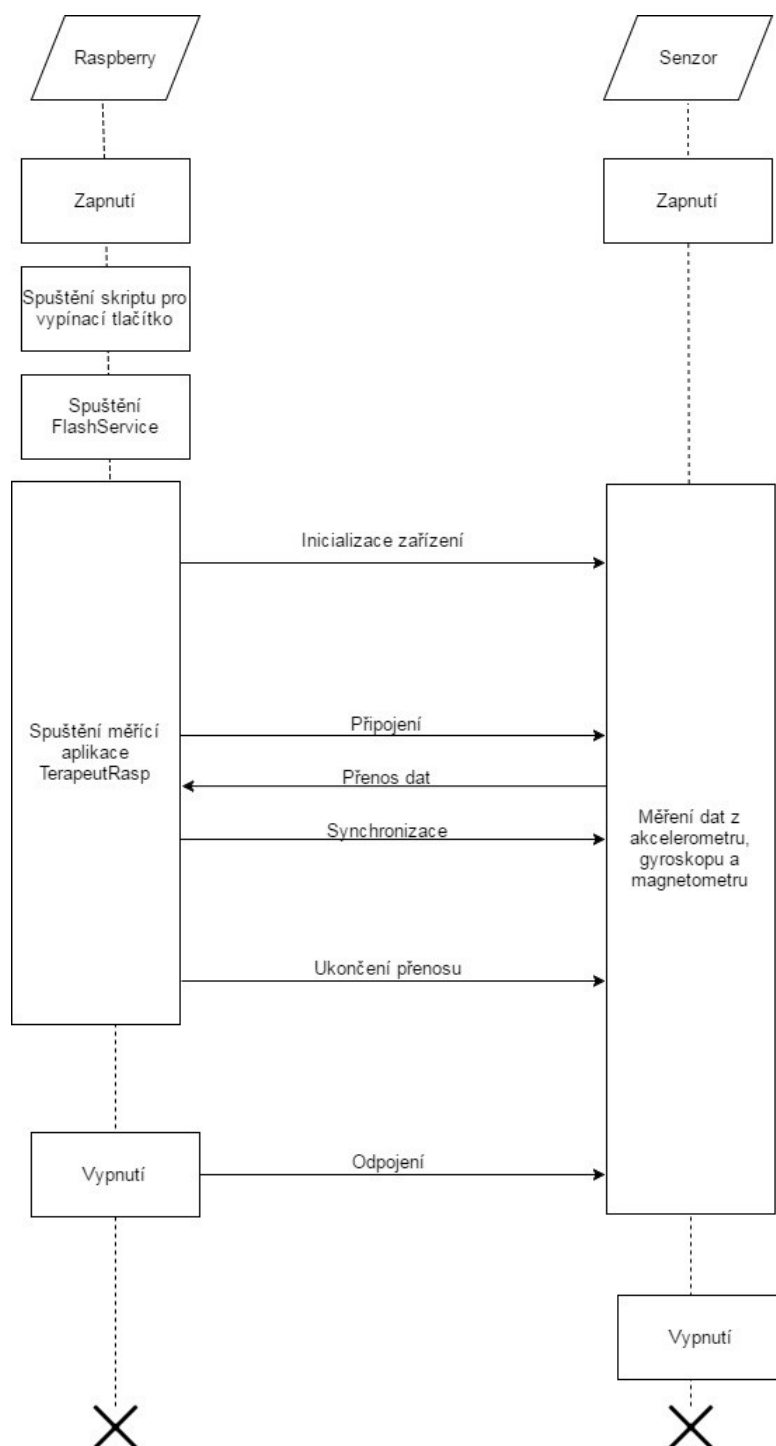
```
„sudo modprobe rtc-ds1307  
sudo bash  
echo ds1307 0x68 > /sys/class/i2c-adapter/i2c-1/new_device”
```

Po příslušných příkazech se čas a datum nastavily na 1. ledna 2000. Po připojení Raspberry k internetu se hodiny synchronizovaly s aktuálním datem a časem.

Po dalším spuštění byl čas stejný jako při vypnutí a synchronizoval se s aktuálním časem opět až po připojení k internetu. Proto bylo třeba přidat RTC modul do souboru modulů v Raspberry, které jsou spouštěny při zapnutí zařízení.

6 Návrh a realizace aplikace FlashService a TherapeutRasp

V této kapitole je popsán přenos parametrů cvičení na Raspberry Pi a samotná aplikace na Raspberry Pi TherapeutRasp, která umožňuje měření, zobrazování a ukládání dat z akcelerometru a spouští cvičení dle dříve nastavených parametrů.



Obr. 13 Sekvenční diagram Raspberry a senzoru

6.1 FlashService

Přesun parametrů a dat je uskutečněn přes USB Flash disk. Uživatelský zásah je opět jen u aplikace na osobním počítači. Zde se nastaví parametry cvičení a uloží se na flash disk do souboru `config` ve formátu `.xml`. Tento soubor obsahuje parametry `PatientName`, `PatientSurName`, `Start`, `End`, `TrainingType`, `TrainingLength` a `Angle`.

| | |
|-----------------------------|--|
| <code>PatientName</code> | Jméno |
| <code>PatientSurName</code> | Příjmení |
| <code>Start</code> | Datum předání pomůcky |
| <code>End</code> | Datum odevzdání pomůcky |
| <code>TrainingType</code> | 1–2, 1 pro program Rovnováha, 2 pro program Kříž |
| <code>TrainingLength</code> | 1–11, různí se podle typu programu |
| <code>Angle</code> | různí se podle typu programu |

Tyto parametry jsou blíže popsány v kapitole 7.1.

Flash disk se poté zapojí do Raspberry, na kterém proběhnou příslušné operace. Jelikož Raspberry má operační systém Linux, flash disk se sám automaticky nepřipojí, jako je tomu u zařízení s OS Windows.

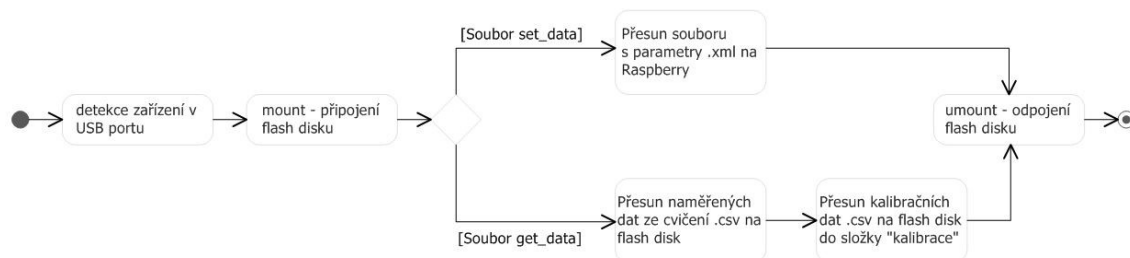
Program `FlashService`, který se spouští po zapnutí Raspberry Pi a běží na pozadí, umožňuje nejen přenos konfigurace a naměřených dat, ale také spouští skripty, které slouží pro připojení a odpojení flash disku. Jakmile program detekuje existenci flash disku v usb portu, spustí se skript, který provede příkaz „`mount`” – připojení. Po dokončení přesunu dat se spustí skript, který provede příkaz „`umount`” – odpojení.

Hlavní funkcí programu `FlashService` je přesun dat jak konfiguračních, tak naměřených. Při nastavení parametrů a uložení na flash disk se na flash disk uloží také soubor „`set_config`”. Pokud chceme přesunout naměřená data z Raspberry na flashdisk, musíme flashdisk nastavit jako čtecí flash. To se provede v aplikaci na Windows tlačítkem „Vytvoř čtecí Flash”. V tomto případě se na flash disk, který vybereme, uloží soubor „`get_data`”. Program `FlashService` zjišťuje přítomnost souboru „`set_config`” nebo „`get_data`”. Existencí těchto souborů jsou podmíněny další operace. Soubory obsahují svůj název, aby jejich obsah byl nenulový.

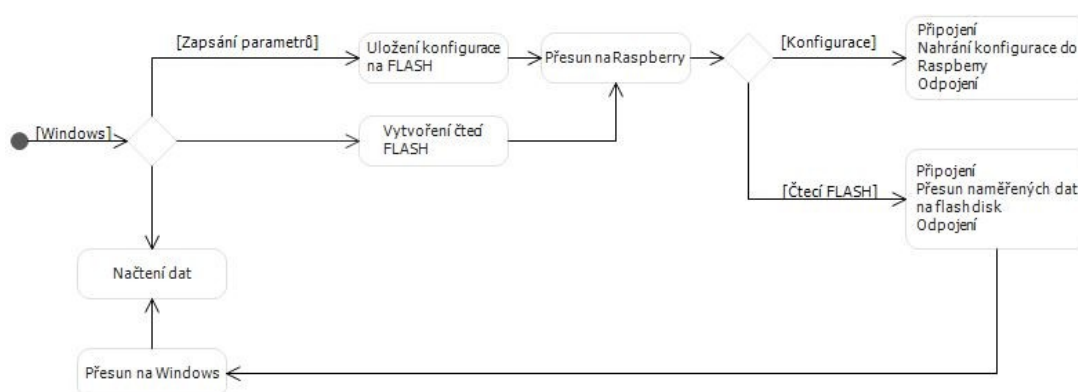
V případě, že je na flash disku soubor s názvem „`set_config`”, program přesune soubor s parametry cvičení `.xml` na Raspberry, kde už s ním pracuje daná aplikace.

V druhém případě, kdy je na flash disku soubor s názvem „`get_data`”, program přesune všechny soubory uložené v příslušných složkách z Raspberry na flash disk. (Obr. 14) Naměřená data se ukládají ve formátu `.csv`. Pro každé cvičení se vytvoří jeden soubor označený datem a časem, kdy byl vytvořen. Jelikož se ukládají dva typy dat – kalibrační data a data z cvičení, jsou ukládány do dvou různých složek. Po přesunu na flash disk jsou kalibrační data uložena ve své složce.

Flash disk s naměřenými daty poté můžeme vložit do počítače a výsledky si zobrazit v dané aplikaci.



Obr. 14 Diagram aktivit programu FlashService



Obr. 15 Diagram uživatelských aktivit při přenosu dat na a z Raspberry Pi

6.2 TherapeutRasp

Podle požadavků byly v rámci této práce vytvořeny dvě aplikace. První aplikace je na Raspberry PI, kde je OS Linux. Uživatelské rozhraní je minimální. Jde jen o zapnutí - aplikace se sama spustí - a vypnutí zařízení. Aplikace čte zadané parametry a podle nich spouští cvičení. Během něj se přenesená data zobrazují na obrazovce a po skončení se ukládají pro pozdější použití.

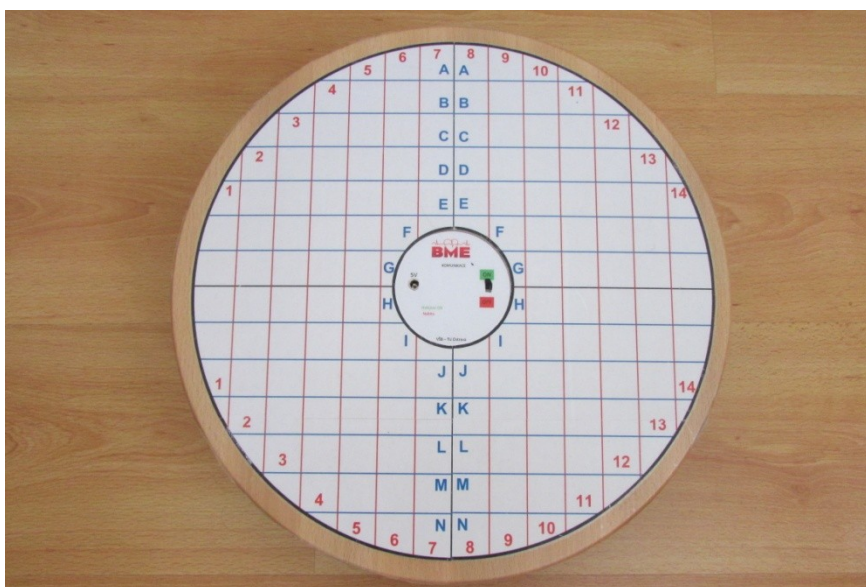
Druhá aplikace slouží k nastavení parametrů cvičení a zobrazení výsledků a je popsána v kapitole 7.

6.2.1 Popis programů cvičení

Cvičení probíhá na kruhové úseči se zabudovaným inerciálním senzorem. Průměr kruhové úseče je 38 cm a výška je 7 cm. Cvičební programy jsou Rovnováha a Kříž.



Obr. 16 Kruhová úseč (pohled ze strany)



Obr. 17 Kruhová úseč (pohled shora)

6.2.1.1 Program Rovnováha

Tento program uvádí cvičení, při kterém se pacient snaží udržet plošinu bez náklonu. Svou pozici by měl udržet uvnitř vyznačeného kruhu. Poloměr kruhu je možno nastavit spolu s ostatními parametry. Pro začátek je vhodné zvolit kruh větší, po zvládnutí tohoto cvičení je možno zvolit kruh menší. Poloměr kruhu, který vymezuje oblast, které by měl pacient maximálně dosáhnout, je určen z nastaveného úhlu při volbě parametru měření v programu Rovnováha. Tento úhel je zadáván ve stupních v rozmezí 1° - 20° . (viz 7.1) Nastavený úhel je přepočítán na radiány a poté je pomocí goniometrických funkcí vypočítána vzdálenost kruhu od středu, tzn. jeho poloměr. Funkce, která toto umožňuje je popsána v dalších kapitolách, protože je stejná jako funkce pro vykreslování bodu polohy. (Obr. 19, Obr. 20)

Dalším parametrem tohoto cvičení je jeho délka. V nastavení je pro program Rovnováha na výběr 1 minuta, 2 minuty, 3 minuty, 4 minuty, 5 minut, 6 minut, 7 minut, 8 minut, 9 minut, 10 minut a neomezeně.

6.2.1.2 Program Kříž

U toho cvičení by se měl pacient pohybovat v sagitální a frontální rovině v mezích vyznačeného kříže. Cvičení je náročnější než předchozí program a je opět možné upravit náročnost změnou šířky kříže. Ta se opět vypočítává z nastaveného úhlu, který je v případě tohoto programu v rozmezí 3° - 20° . Přepoččet je stejný jako u programu Rovnováha a je blíže popsán v dalších kapitolách.

Stejně jako u předchozího programu se zde nastavuje délka cvičení. U programu Kříž jsou délky cvičení 10 sekund, 20, sekund, 30 sekund, 40 sekund, 50 sekund, 1 minuta, 2 minuty, 3 minuty, 4 minuty, 5 minut a neomezeně. (Obr. 20, Obr. 21)



Obr. 18 Příprava u programu Rovnováha



Obr. 19 Program Rovnováha



Obr. 20 Příprava u programu Kříž



Obr. 21 Program Kříž

6.2.2 Přenos dat ze senzoru do Raspberry

Přenos dat mezi RaspberryPi a senzorem umístěným v kruhové úseči je realizován uskutečněno pomocí Bluetooth 4. K Raspberry je připojen bluetooth dongle. Je to USB dongle typu CC2540 Low Energy od firmy Texas Instruments. Bluetooth dongle komunikuje s bluetooth modulem, který je zabudován uvnitř kruhové úseče a přijímá data z akcelerometru, gyroskopu a magnetometru.

Aby bylo možné použít bluetooth přenos, musel se na Raspberry doinstalovat balíček s názvem BlueZ. Ten obsahuje knihovny a nástroje, které pracují na mnoha zařízeních podporovaných Linuxem. BlueZ je kompatibilní s jakýmkoli Linux systémem. V případě Raspberry Pi je to Raspbian. (viz kapitola 5.2)

Protože snímač bluetooth modul v kruhové úseči pracuje v LE módu, je třeba do stejného módu přepnout i bluetooth dongle. To se musí stát po každém zapnutí Raspberry. K tomuto slouží příkaz "sudo btmgmt le on".

Vlastní přenos dat je inicializován z aplikace TerapeutRasp . Po načtení formuláře se otevře port, který je na Raspberry ACM0. Přenosová rychlost je nastavená na 115200. Po otevření portu se inicializuje zařízení a připojení k němu. K tomu slouží níže uvedené příkazy, které jsou v hexadecimálním tvaru. Jsou uloženy jako jednotlivé proměnné. Kromě těchto příkazů jsou zde příkazy pro zapnutí a vypnutí měření. (Obr. 22)

```
readonly byte[] INIT_DEVICE = new byte[] { 0x01, 0x00, 0xFE, 0x26, 0x08, 0x05, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00 };

readonly byte[] CONNECT_DEVICE = new byte[] {0x01, 0x09, 0xFE, 0x09, 0x00, 0x00,
0x00, 0x43, 0xD9, 0x84, 0xB7, 0x2D, 0x3C };

readonly byte[] START_ACC = new byte[] { 0x01, 0x92, 0xFD, 0x06, 0x00, 0x00, 0x2B,
0x00, 0x01, 0x00 };

readonly byte[] STOP_ACC = new byte[] { 0x01, 0x92, 0xFD, 0x06, 0x00, 0x00, 0x2B,
0x00, 0x00, 0x00 };
```

Obr. 22 Inicializace připojení

Program inicializuje zařízení, počká 200 ms, připojí se k zařízení, počká dalších 200 ms, vypne měření, počká 2 s, mezitím vymaže dosud naměřená data a zapne měření. Dále se provede vyhledání začátku datového paketu. Jelikož data jsou přijímána cyklicky ve stejném tvaru (Obr. 23), je možné zjistit, kdy je začátek cyklu. Pokud se objeví byte "04", program čte dál, pokud následuje "FF", dále "10" a pak "1B", začne ukládat data. Pokud byty nebudou v tomto pořadí, počká na další byte, který bude mít hodnotu "04" a výše popsané se bude opakovat.

04 FF 10 1B 05 00 00 00 0A 2A 00 AA AA 74 3E 20 03 80 06

04 FF 10 1B 05 00 00 00 0A 2A 00 BB BB AC FF DF FF 74 FF

04 FF 10 1B 05 00 00 00 0A 2A 00 CC CC D0 FF D4 FF 88 FF

Obr. 23 Příklad cyklu dat

Jakmile je synchronizace úspěšná, program čte 19 bytů (délka jednoho cyklu). Pokud je 11. a 12. byte AA, přijímá data z akcelerometru, pokud je BB, přijímá data z gyroskopu a pokud je CC, data jsou přijímána z magnetometru.

6.2.3 Měření na Raspberry Pi

Uživatelský zásah v aplikaci na RaspberryPi je naprosto minimální. Po připojení k obrazovce přes HDMI a zapojení do sítě se Raspberry zapne a po načtení systému se aplikace sama spustí (viz kapitola 5). Po startu aplikace mohou nastat dvě možnosti:

- kalibrační měření
- měření cvičení

6.2.3.1 Kalibrační měření

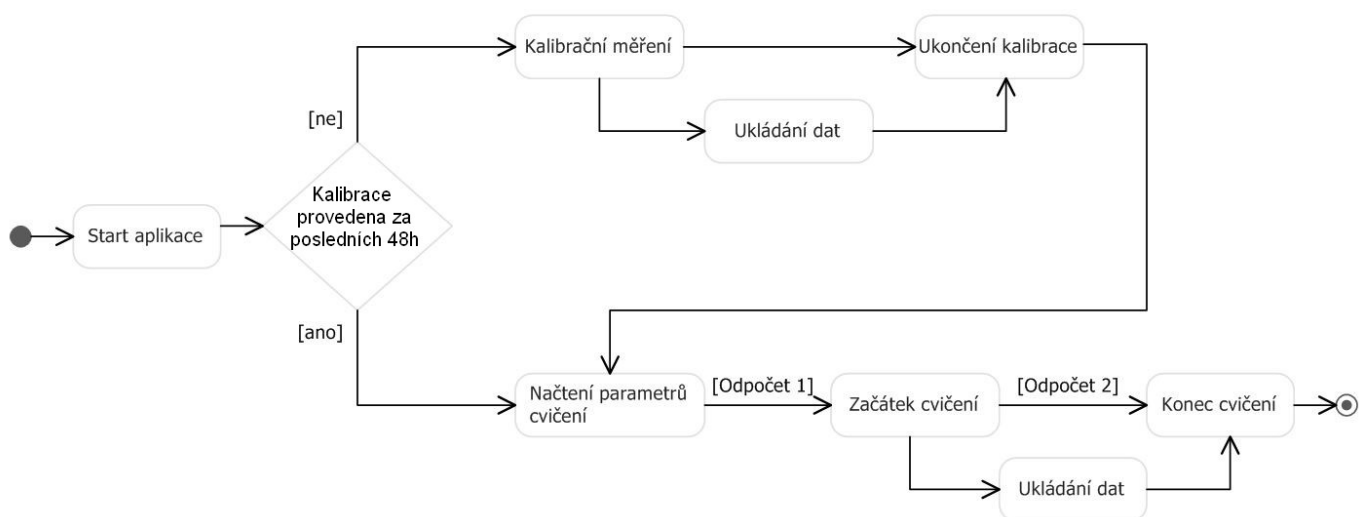
Kalibrační měření je zapotřebí z důvodu působení magnetického pole a zjištění pozice rehabilitační pomůcky před začátkem rehabilitačního cvičení. V každém prostředí se senzor může chovat jinak, proto je potřeba jej kalibrovat. V tomto případě se kalibrační měření provádí nejméně co 48 hodin. V praxi to funguje tak, že pokud neexistuje soubor s kalibračními daty, který má mladší datum a čas než posledních 48 hodin, spustí se režim kalibrace. Ten trvá 1 minutu a přenesená data se ukládají jako kalibrační data do příslušné složky. Po skončení kalibrace přejde aplikace k měření cvičení. Pokud existuje soubor s kalibračními daty, který vznikl za posledních 48 hodin od spuštění aplikace, kalibrace se neprovádí a začíná měření cvičení. Celý proces je zobrazován na obrazovce, uživatel může sledovat odpočet do konce kalibrace a začátku cvičení.

6.2.3.2 Měření cvičení

Na zobrazovací ploše se objeví požadovaný obrazec, popis cvičení a spolu s nimi datum a čas začátku cvičení. Také se zapne odpočet do startu cvičení, během kterého by se cvičící měl připravit. Po odpočtu se již spustí cvičení a začnou se ukládat měřená data. Také se odpočítá čas do konce cvičení, po kterém se program zastaví. Oba odpočty se zobrazí, aby je cvičící viděl. (Obr. 24)

Parametry, které byly nastaveny a uloženy na počítači se přenesou na Raspberry pomocí USB flash disku. Aplikace přečte potřebné informace, vyhodnotí je a podle toho nastaví cvičící program a délku cvičení.

Naměřená data se uloží zpět na flash disk. (Obr. 15)



Obr. 24 Diagram aktivit aplikace na Raspberry

6.2.4 Zobrazování dat

Jádro aplikace na Raspberry je v zobrazování dat, která se přijímají ze senzoru. Na obrazovce se zobrazuje bod, který znázorňuje polohu uživatele na kruhové úseči –jeho sklon

a náklon. Z akcelerometru získáváme x, y a z souřadnice. Pokud je akcelerometr v klidu, působí na něj pouze gravitační síla v z souřadnici. Souřadnice x a y jsou nulové. Abychom tato data mohli vhodně zobrazit, musíme je náležitě přepočíst.

Cílem je zobrazení bodu, který simuluje aktuální polohu kruhové úseče. Na obrazovce se bod vykresluje do daného obrazce – kříže nebo kruhu.

6.2.4.1 Přepočet souřadnic z akcelerometru

Ze souřadnic získaných akcelerometrem je možné vypočítat úhel alfa, který znázorňuje naklonění plošiny.

$$\alpha = \tan \frac{accx}{accz} \quad (1.)$$

pro souřadnici x

$$\alpha = \tan \frac{accy}{accz} \quad (2.)$$

pro souřadnici y, kde:

| | | |
|----------|------------------------------|-----|
| α | úhel naklonění | (°) |
| accx | x souřadnice z akcelerometru | |
| accy | y souřadnice z akcelerometru | |
| accz | z souřadnice z akcelerometru | |

6.2.4.2 Přepočet souřadnic bodu

Z Obr. 25 se dá vyčíst postup a rovnice, které budeme používat. Cílem je zjistit x, které umožní zjistit souřadnici bodu, kde je styk podložky se zemí, který se poté zobrazí.

Pro výpočet x je nutné znát úhel α , poloměr kruhu, jehož součástí je kruhová úseč a výšku kruhové úseče. Pro výpočet poloměru, je nutné znát úhel γ . Ten se vypočítá pomocí goniometrických funkcí:

$$\gamma = 2 \cdot \tan^{-1} \frac{r_p}{v} \quad (3.)$$

kde:

| | | |
|-------|---------------------------------|------|
| r_p | poloměr kruhové úseče (plošiny) | (cm) |
| v | výška kruhové úseče | (cm) |

Dále se může vypočítat poloměr kruhu. Pro výpočet poloměru kruhu z kruhové výseče je použit vzorec:

$$r = \frac{r_p \cdot 2}{2 \cdot \sin \gamma} \quad (4.)$$

kde:

| | | |
|-----|---------------|------|
| r | poloměr kruhu | (cm) |
|-----|---------------|------|

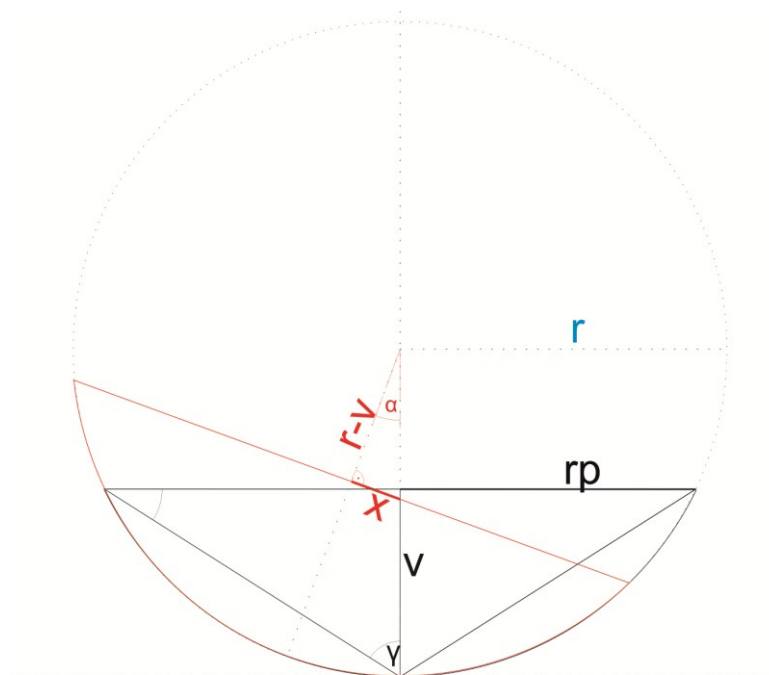
| | | |
|----------|-----------------------|------|
| r_p | poloměr kruhové úseče | (cm) |
| γ | úhel | (°) |

Nakonec je možné vypočítat x .

$$x = (r - v) \cdot \tan \alpha \quad (5.)$$

kde:

| | | |
|----------|------------------------------|------|
| x | vzdálenost bodu od středu | |
| r | poloměr kruhu | (cm) |
| v | výška kruhové úseče | (cm) |
| α | úhel naklonění kruhové úseče | (°) |



Obr. 25 Výpočet souřadnic bodu

6.2.4.3 Softwarové řešení zobrazování dat

V kapitole 6.2.2 je popsána inicializace zařízení, připojení senzoru, synchronizace a přenos dat ze senzoru pomocí bluetooth. V této kapitole je popsáno softwarové zpracování přijímaných dat.

Po vyhledání začátku datového balíku nastává samotné měření dat. Z kapitoly 6.2.2 vyplývá, že přijímáme data z akcelerometru, gyroskopu a magnetometru podle Bytu, který jim předchází. AA znamená akcelerometr, BB gyroskop a CC magnetometr. Pro požadovanou funkci aplikace zpracováváme data přijatá z akcelerometru.

Paralelně s kapitolami 6.2.4.1 Přepočet souřadnic bodu 6.2.4.2 je možné sestavit sérii příkazů vedoucí k získání potřebných parametrů pro zobrazení bodu. Data přijatá akcelerometrem se zpracovávají podle rovnic uvedených v předchozích kapitolách.

```
„double x = CalcParametersAcc(Math.Atan(accx / accz));
double y = CalcParametersAcc(Math.Atan(accy / accz));”
```

kde:

| | |
|-------------------------|---|
| double x | x souřadnice zobrazovaného bodu |
| double y | y souřadnice zobrazovaného bodu |
| Math.Atan(-accx / accz) | slouží pro výpočet úhlu α |
| CalcParametersAcc | funkce pro výpočet poloměru kruhové úseče |

Funkce *CalcParametersAcc* obsahuje všechny matematické operace popsané v kapitole 6.2.4.2, které jsou potřebné pro výpočet poloměru kruhové výseče a žádaného x (Obr. 25):

```
„public float CalcParametersAcc(double alpha)
{
    double gamma = 2 * Math.Atan(r / v);
    double rKoule = (r * 2) / (2 * Math.Sin(gamma));
    float ret = (float)((rKoule - v) * Math.Tan(alpha));
    return ret;
}”
```

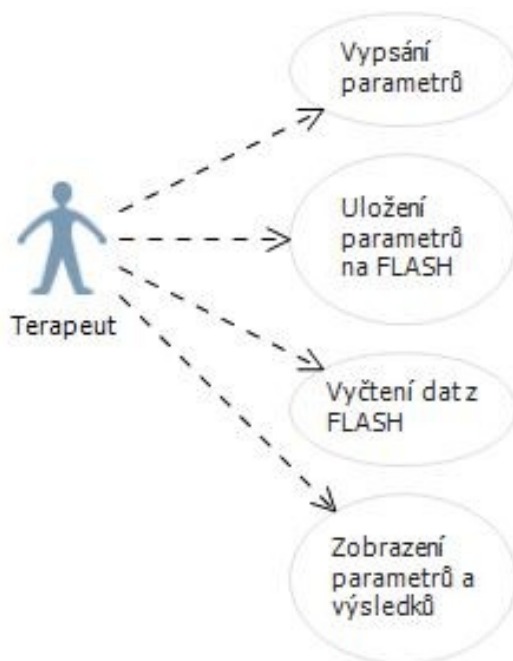
kde:

| | |
|--------|---|
| gamma | úhel γ |
| rKoule | poloměr kruhu |
| ret | vzdálenost bodu od středu, x na Obr. 25 |

Takto vypočítané souřadnice jsou zpracovány a zobrazeny jako bod na obrazovce.

7 Programy pro nastavování rehabilitace a zobrazení dat v osobním počítači

Druhou vytvořenou aplikací je Terapeut. Jelikož je potřeba nastavovat parametry cvičení a většina běžně užívaných zařízení pracuje s operačním systémem Windows, bylo třeba vytvořit aplikaci na tento OS. Ta slouží k již zmíněnému nastavení parametrů a také k zobrazení výsledků cvičení.



Obr. 26 Use case aplikace terapeuta

7.1 Nastavení parametrů

Po spuštění aplikace Terapeut se otevře formulář, kde se můžou zadat základní informace o pacientovi, datu předání a odevzdání pomůcky a nastavit parametry cvičení. Je nastavován cvičební program, délka cvičení a velikost úhlu. Nakonec je na výběr MAC adresa senzoru, který bude připojen. MAC adresa je jedinečný identifikátor síťového zařízení, kterou využívají technologie jako Ethernet nebo bluetooth. (Příloha II: II a)

Při nastavení data předání a odevzdání pomůcky se automaticky vypočítá a zobrazí kolik dní bude mít pacient pomůcku doma.

V rámci této práce byly vytvořeny dva cvičící programy. Prvním z nich je Kříž a druhým je Rovnováha. Popis cvičení je v uveden kapitole 6.2.1. Podle toho, který program je vybrán, zobrazí se výběr délky cvičení a velikost úhlu, který ovlivňuje náročnost cvičení (kapitola 6.2.1). V případě programu Kříž jsou délky cvičení 10 sekund, 20, sekund, 30 sekund, 40 sekund, 50 sekund, 1 minuta, 2 minuty, 3 minuty, 4 minuty, 5 minut a neomezeně. Úhel je nastavován v rozmezí 3°-20°. (Příloha II: II b)

V případě programu Rovnováha jsou délky cvičení 1 minuta, 2 minuty, 3 minuty, 4 minuty, 5 minut, 6 minut, 7 minut, 8 minut, 9 minut, 10 minut a neomezeně. Úhel je nastavován v rozmezí 1°-20°. (Příloha II: II c)

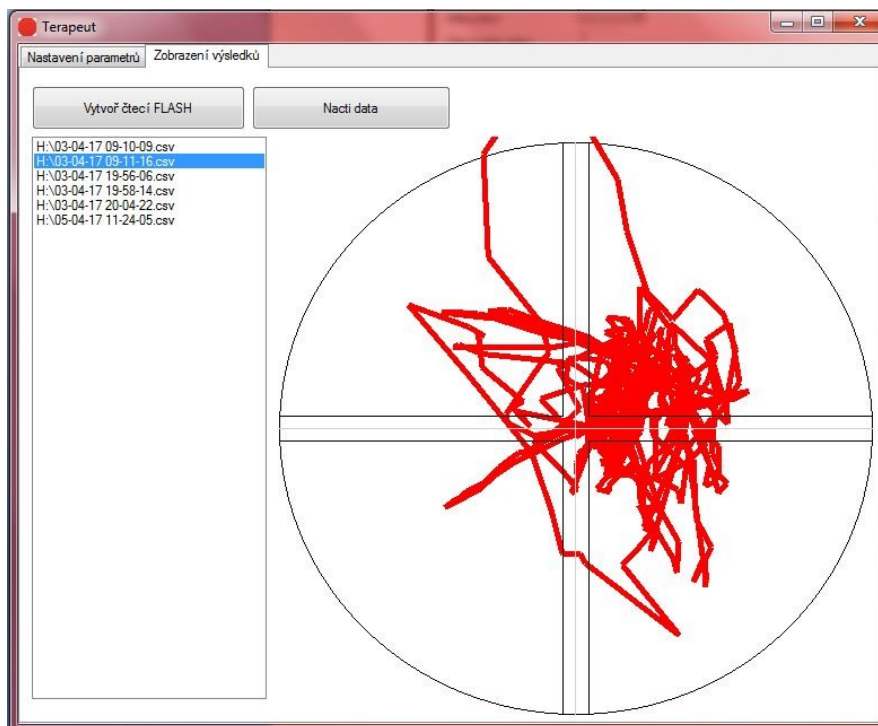
Každá kruhová úseč se svým senzorem má jinou MAC adresu. Z tohoto důvodu je třeba ji dopředu nastavit, aby se Raspberry mohlo připojit ke správnému zařízení. Nastavení MAC adresy je možné dvěma způsoby. Prvním je její vybrání z již uložených MAC adres. Pokud žádaná MAC adresa v seznamu není, můžeme ji přidat výběrem "Jiná" a postupovat dle instrukcí. (Příloha II: II d)

Příkaz pro inicializaci spojení se senzorem vyžaduje, aby jednotlivé části MAC adresy byly seřazeny při zápisu v opačném pořadí. Při zadávání nové MAC adresy musí být tato skutečnost brána v potaz. Pokud má zařízení MAC adresu např. „3C:2D:B7:84:D9:43“, musí být zapsána jako „43:D9:84:B7:2D:3C“. (Příloha II: II e)

Takto vyplněný formulář je uložen na místo, které si obsluhující vybere a informace jsou přeneseny na platformu Raspberry Pi, viz 6.1.

7.2 Zobrazení výsledků

V záložce Zobrazení výsledků jsou načítána naměřená data z Raspberry a zároveň se vyplní položky v záložce Nastavení parametrů. Po stisknutí tlačítka „Načti data“ se otevře okno pro výběr úložiště, ze kterého jsou data čerpána. Po vybrání flash disku se veškeré soubory s daty ze cvičení zobrazí v seznamu. Soubory jsou označeny datem a časem, kdy vznikly. Podrobnější popis přenosu dat přes flash disk je uveden v kapitole 6.1.



Obr. 27 Zobrazení výsledků

8 Testování aplikací

Pro ověření správné funkce jednotlivých programů bylo provedeno testování. Testy výsledné aplikace byly uskutečněny na 4 dobrovolnících. Bylo testováno správné zobrazení bodu na obrazovce aplikace TherapeutRasp, přenos parametrů a naměřených dat pomocí programu FlashService a nastavování parametrů a zobrazování naměřených dat přes aplikaci Therapeut.

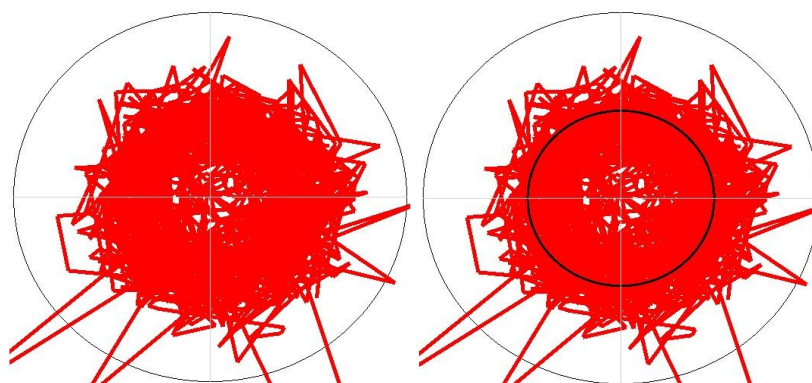
Testování proběhlo při postupném nastavení šesti různých typů cvičení. Pro otestování nastavování parametrů a jejich přenosu na Raspberry Pi byl měněn program a délka cvičení a stupně určující šířku mezí, ve kterých se měla testovací osoba držet. Po zapsání konfigurace na flash disk, byl flash disk přesunut na Raspberry Pi, kde se konfigurace pomocí programu FlashService překopírovala do paměti počítače. Po restartování Raspberry Pi se spustilo cvičení s nově nastavenými parametry. Při prvním cvičení nebyly na Raspberry Pi naměřená žádná kalibrační data a z toho důvodu se spustilo první kalibrační měření. Po jeho skončení se odpočítal čas do počátku samotného cvičení, odpočet byl zobrazen na obrazovce, aby se dotyčný mohl připravit. Čas pro přípravu na cvičení byl nastaven na půl minuty a pro všechny dobrovolníky to byla dostatečně dlouhá doba.

Pro ověření funkčnosti nastavování MAC adresy byly použity tři různé inerciální senzory. Jeden z těchto senzorů byl zabudován v kruhové úseči, na které dobrovolníci prováděli cvičení.

Po skončení cvičení se pomocí vytvořeného čtecího flash disku a programu FlashService překopírovala data na zmíněný flash disk. Po připojení do počítače se naměřená data mohla zobrazit v aplikaci Therapeut. Po vybrání flash disku se v seznamu objevily všechny soubory s naměřenými daty a v záložce Nastavení se vypsaly všechny dříve dané parametry měření.

V průběhu testování bylo zjištěno několik nedostatků. Správná funkce TherapeutRasp je vázána na daný typ kruhové úseče, resp. orientace zabudovaného senzoru. Při spuštění aplikace s testovanou kruhovou úsečí se ukázalo, že měřené směry se zobrazují opačně. Tento problém byl odstraněn, avšak pokud se měření spustí s jinou kruhovou úsečí, která bude mít senzor orientovaný jinak, zobrazování měření bude chybné. To samé platí pro zobrazování výsledků v aplikaci Therapeut. Tento problém by se v budoucnu mohl řešit tak, že se do nastavování přidá parametr určující orientaci senzoru. Tímto by se upravit vzorec (1.) a (2.) vynásobením 1 nebo (-1).

Další z nedostatků byla chyba ve vizualizaci v aplikaci Therapeut při zobrazování výsledků, kdy naměřená data překrývala nastavený obrazec, z tohoto důvodu nebylo možné určit úspěšnost dotyčné testovací osoby. Tato vada byla opravena vykreslením daného kruhu nebo kříže přes naměřená data. (Obr. 28)



Obr. 28 Zobrazení dat v aplikaci Therapeut, vlevo stará verze, vpravo po úpravě

Práce byla založena na předpokladu domácí terapie se stále stejnými parametry cvičení po určitou dobu. Vzhledem k tomuto se výsledky v aplikaci Therapeut zobrazují s parametry nastavenými jako poslední. Pokud budeme zobrazovat starší data, která byla naměřena při cvičení s jinými parametry, zobrazení bude chybné. Po každém nastavení parametrů je potřeba vymazat nebo přesunout staré soubory ze čtecího flash disku, aby se předešlo ztrátě nebo záměně dat mezi pacienty.

Ukázky naměřených dat obsahuje Příloha III.

9 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením aplikace pro řízenou domácí terapii s balanční rehabilitační pomůckou s biofeedbackem. Aplikace je vytvořena pro spuštění na platformě Raspberry Pi. V práci je řešena realizace této aplikace s názvem *TherapeutRasp* a aplikace pro nastavování parametrů cvičení s názvem *Therapeut*.

Součástí práce je teoretická část, která obsahuje rozbor problematiky biofeedbacku, popisuje použití různých senzorů ve fyzioterapii jako jsou tenzometrické, elektrogoniometrické a inerciální senzory. Dále jsou popsány různé typy balančních rehabilitačních pomůcek a nakonec platforma Raspberry Pi. V rámci práce byla provedena rešerše na tato témata.

Dalším krokem byla realizace jednotlivých dílčích částí potřebných ke správnému chodu celé práce. Jednotlivé programy jsou napsány v programovacím jazyce C#. Z tohoto důvodu bylo potřeba na Raspberry Pi, které má operační systém založený na Linuxu, potřeba doinstalovat implementaci Mono. Aplikace vytvořená pro RaspberryPi – *TherapeutRasp* – komunikuje se senzorem, který je zabudován v balanční kruhové úseči pomocí rozhraní bluetooth. Aby byl tento přenos možný, byl na Raspberry Pi dodán balíček BlueZ, pomocí kterého se nainstalovala softwarová podpora pro bluetooth. V rámci přípravy byly dokoupeny a nainstalovány hodiny reálného času. Pro jednodušší a bezpečnější užívání bylo přidáno tlačítko, které má funkci vypnutí/reset.

Aplikace *TherapeutRasp* se sama spustí po zapnutí Raspberry Pi a nastaví cvičení podle předem daných parametrů. *TherapeutRasp* komunikuje přes bluetooth s inerciálním senzorem umístěným v rehabilitační pomůcce a přijímaná data přepočítává a zobrazuje na obrazovce tak, aby pacientovi pomohl se cvičením. Měřená data se ukládají do paměti Raspberry Pi.

Parametry cvičení se nastavují přes aplikaci *Therapeut*, která je spustitelná na OS Windows. Nastavuje se zde cvičící program – kříž nebo rovnováha – délka cvičení, stupně, které určují velikost daného obrazce, a MAC adresa senzoru, se kterým bude cvičeno. V této aplikaci jsou zároveň zobrazovány naměřená data.

Pro přenos parametrů cvičení a následně naměřených dat byl vytvořen program *FlashService*, který byl nainstalován na Raspberry Pi. Ten umožňuje přesun parametrů a dat bez uživatelského zásahu.

Následně bylo provedeno testování pro ověření správné funkce všech dílčích programů. Testování bylo provedeno na několika dobrovolnících s různými parametry cvičení a se senzory s odlišnými MAC adresami.

Celá sestava nabízí širokou škálu možnosti rozšíření a úprav. Pokud by mezi výslednými soubory byla stará data z měření s jinými počátečními parametry cvičení, výsledný obraz by byl chybný. Tento stav je způsoben tím, že aplikace *Therapeut* předpokládá blok několikanásobného cvičení se stejnými parametry. Proto jsou při zobrazování výsledků nastaveny parametry posledního nastavení cvičení. V případě požadavků různých cvičení v jednom bloku může být aplikace dle potřeby rozšířena. Dalším doplněním by mohla být možnost uvést do parametrů orientaci senzoru zabudovaného v kruhové úseči. Pokud by byl senzor nainstalován opačně,

stejně tak by byla zobrazována i měřená data. Upravit je možné také design cvičebních programů, který by pacientům cvičení zpříjemnil, např. zájízďení autem do garáže nebo jízda po kruhovém objezdu.

V aktuální konstrukci, která obsahuje Raspberry Pi a bluetooth dongle, může dojít při nevhodné manipulaci nebo při přenášení k poškození bluetooth donglu, případně USB konektoru. Vhodnou úpravou USB konektoru a umístění obou zařízení do jednoho obalu lze toto riziko poškození eliminovat. Z důvodu možné záměny orientace senzoru při montáži do rehabilitační pomůcky by bylo vhodné například opatřit senzor výrazným označením orientace na jeho povrch nebo změnou polohy montážních děr tak, aby nemohlo dojít k záměně při instalaci.

Použitá literatura

- [1] *Online Etymology Dictionary* [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <http://www.etymonline.com>
- [2] *American Heritage Dictionary* [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <https://www.ahdictionary.com>
- [3] AUNG, Yee Mon a Adel AL-JUMAILY. Shoulder rehabilitation with biofeedback simulation. In: *2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation* [online]. 2012 [cit. 2015-06-15]. DOI: 10.1109/icma.2012.6283382
- [4] ZHANG, Ting, Jiang LU, Fei HU, Lv WU a Mengcheng GUO. A sensor-based virtual piano biofeedback system for stroke rehabilitation. In: *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)* [online]. 2014 [cit. 2015-06-17]. DOI: 10.1109/ghtc.2014.6970334
- [5] NERI, Luca, Giulia ADORANTE, Gianni BRIGHETTI a Elena FRANCIOSI. Postural rehabilitation through Kinect-based biofeedback. In: *2013 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)* [online]. 2013 [cit. 2015-06-16]. DOI: 10.1109/icvr.2013.6662110
- [6] KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. 1. vyd. Praha: Galén, 2009, xxxi, 713 s. ISBN 978-80-7262-657-1.
- [7] GIGGINS, Oonagh M, Ulrik PERSSON a Brian CAULFIELD. Biofeedback in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2013, **10**(1), 60- [cit. 2016-01-17]. DOI: 10.1186/1743-0003-10-60. ISSN 1743-0003. Dostupné z: <http://www.jneuroengrehab.com/content/10/1/60>
- [8] Dizziness and Balance Disorder Treatments. *The Montreal Tinnitus Clinic* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://www.monacouphene.ca/en/treatment/dizziness-and-balance-disorder>
- [9] ČAKRT, O., P. KOLÁŘ, R. ČERNÝ, T. FUNDA a J. JEŘÁBEK. Elektrotaktilní stimulace jazyka: nová možnost rehabilitace posturální stability. *Cesk Slov Neurol N*. 2009, , 364-367.
- [10] JEBAVÝ, Radim a Tomáš ZUMR. *Posilování s balančními pomůckami*. 2., dopl. vyd. Praha: Grada, 2014, 216 s. Fitness, síla, kondice. ISBN 978-80-247-5130-6.
- [11] *Řihové rehabilitační pomůcky s.r.o.* [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <http://www.rihove.cz/vyroby/1.html>
- [12] MUCHOVÁ, Marta; TOMÁNKOVÁ, Karla. *Cvičení na balanční plošině*. Praha: Grada Publishing, 2009. 143 s. ISBN 978-80-247-2948-0
- [13] WHAT IS A RASPBERRY PI? *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#introWhatIs>
- [14] WHAT OPERATING SYSTEM (OS) DOES IT USE? *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#softwareOS>
- [15] Instalace systému na Raspberry Pi, programů a záloha. *ITnetwork* [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <http://www.itnetwork.cz/nezarazene/instalace-systemu-na-raspberry-pi/>
- [16] WHAT ARE THE DIFFERENCES BETWEEN MODELS? *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#generalDifference>
- [17] *Engineering* [online]. 2011 [cit. 2015-06-21]. DOI: 10.1109/icbbe.2011.578018

- [18] *Genua recurvata* [online]. [cit. 2015-06-20]. Dostupné z: <http://lekarske.slovníky.cz/pojem/genua-recurvata>
- [19] *Scapula alata* [online]. [cit. 2015-06-21]. Dostupné z: http://www.prolekare.cz/rehabilitace-fyzika-lni-lekarstvi-clanek/diferencialni-diagnostika-scapula-alata-49089?confirm_rules=1
- [20] Electrogoniometer. *The Free Dictionary: Medical dictionary* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/electrogoniometer>
- [21] LANG, Ben, BATALLE, Jordi. An Introduction to Positional Tracking and Degrees of Freedom (DOF). In: *Road to VR* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://www.roadtovr.com/introduction-positional-tracking-degrees-freedom-dof/>
- [22] *Popis soustavy hmotných bodů a tuhého tělesa* [online]. Matematicko-Fyzikální fakulta - Univerzita Karlova v Praze [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/mechanika/5_1
- [23] NOVÁK, Petr. Experimentální metody v mechatronice. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1631-9.
- [24] LACHNIT, Zdeněk. Kinematická analýza pohybu cyklisty s transtibiální protézou. Brno, 2007. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky
- [25] HUSÁK, Miroslav. 8. Akcelerometry. In: *ReadGur* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://readgur.com/doc/172537/08-akcelerometry.pdf>
- [26] CULHANE, K. M., M. O'CONNOR, D. LYONS a G. M. LYONS. Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. *Age Ageing*. 2005, (34), 556-560. ISSN 1468-2834.
- [27] CACEK, J. et al. *Trénink jádra (Core training)*. In: *Atletika, Praha 4 : Česká atletika s.r.o.*, 60, 1. 2008. s. 18-21. ISSN 0323-1364.
- [28] Balanční cvičení. *S dětmi v pohodě* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/sdetmivpohode/kurzy/micovesporty/balance.php>
- [29] Balanční úseč, válcová. *Thera Band* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://www.thera-band.cz/balancni-usec-valcova>
- [30] Podložky, klíny, úseče. *Rehabilitace - sport* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <https://www.rehabilitace-sport.cz/10-podlozky-kliny-usece>
- [31] Balanční čochka. *Thera Band* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://www.thera-band.cz/balancni-cocka>
- [32] ŠTOLL, Ivan. *Mechanika*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-0104-554-1.
- [33] PFLEGEROVÁ, Erika. *Technický slovník naučný*. Praha: Encyklopedický dům, 2001. ISBN 80-86044-17-3.
- [34] Magnetometer. *Store Norske Leksikon* [online]. Oslo, 2009 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <https://snl.no/magnetometer>
- [35] Gyroscope. *Wikimedia Commons* [online]. 2006 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Gyroscope-no_text.png
- [36] *Tweakers* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://static.tweakers.net/ext/f/eJU1In60xJCCh0XKg7FeI8v/full.jpg>

- [37] Raspberry Pi 2. In: Element 14 community [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/showImage/102-78055-1-227625/1.jpg>
- [38] Grulich Design [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://grulich.eu/rtc.html>

Seznam příloh

Příloha I Obsah přiloženého CD

Příloha II Nastavování parametrů

Příloha III Zobrazení naměřených testovacích dat

Příloha I Obsah přiloženého CD

- Zdrojový kód aplikace TerapeutRasp
- Zdrojový kód aplikace Terapeut
- Zdrojový kód programu FlashService
- Skript na naprogramování vypínacího tlačítka
- Naměřená testovací data

Příloha II Nastavování parametru

Terapeut

Nastavení parametru Zobrazení výsledků

Jméno: Jan

Příjmení: Novák

Datum předání pomůcky: 8. 4. 2017

Datum odevzdání pomůcky: 15. 4. 2017

Cvičící program: Rovnováha

Délka cvičení: 10 sekund

Celkový počet cvičení: 8

Stupně: 4°

MAC adresa: [dropdown]

Uložit

BME

II a GUI programu s vyplněnými informacemi

Terapeut

Nastavení parametru Zobrazení výsledků

Jméno: Jan

Příjmení: Novák

Datum předání pomůcky: 8. 4. 2017

Datum odevzdání pomůcky: 15. 4. 2017

Cvičící program: Kříž

Délka cvičení: [dropdown menu open]

Celkový počet cvičení: [dropdown menu open]

Stupně: 10°

MAC adresa: [dropdown]

Uložit

BME

II b Nastavení programu Kříž

Terapeut

Nastavení parametrů Zobrazení výsledků

Jméno: Jan

Příjmení: Novák

Datum předání pomůcky: 8. 4.2017

Datum odevzdání pomůcky: 15. 4.2017

Cvičící program: Rovnováha

Délka cvičení: 10 sekund

Celkový počet cvičení: 10

Stupně: 10°

MAC adresa: [vypuštěná]

BME

Uložit

II c Nastavení programu Rovnováha

Terapeut

Nastavení parametrů Zobrazení výsledků

Jméno: [vypuštěná]

Příjmení: [vypuštěná]

Datum předání pomůcky: 8. 4.2017

Datum odevzdání pomůcky: 8. 4.2017

Cvičící program: Rovnováha

Délka cvičení: [vypuštěná]

Celkový počet cvičení: 1

Stupně: 1°

MAC adresa: Jiná
12:12:12:12:12:12
43:D9:84:B7:2D:3C

BME

Uložit

II d Nastavení MAC adresy

Terapeut

Nastavení parametrů **Zobrazení výsledků**

Jméno

Příjmení

Datum předání pomůcky

Datum odevzdání pomůcky

Cvičící program

Délka cvičení


Celkový počet cvičení

Stupně 1*

MAC adresa

MAC adresu zadávejte odzadu
ve formátu XX:XX:XX:XX:XX:XX

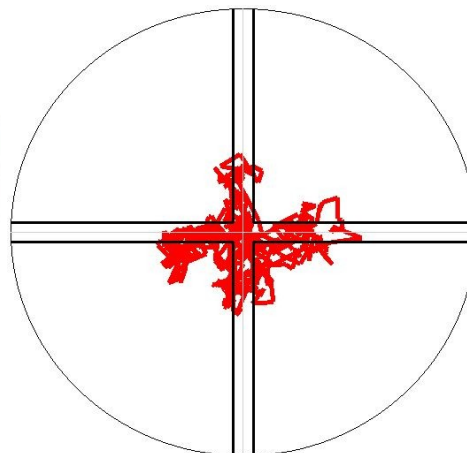
(Příklad:
MAC adresa:3C:2D:B7:84:D9:43
Formát zapsání:43:D9:84:B7:2D:3C)



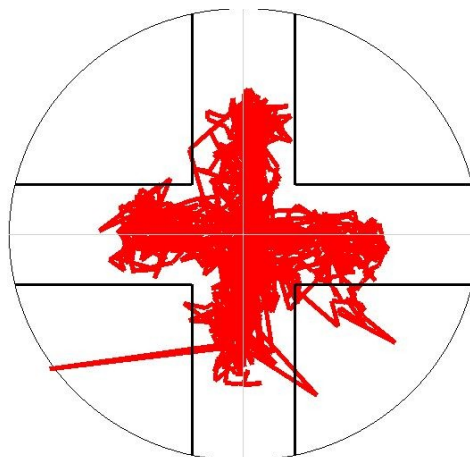
II e Přidání MAC adresy

Příloha III Zobrazení naměřených testovacích dat

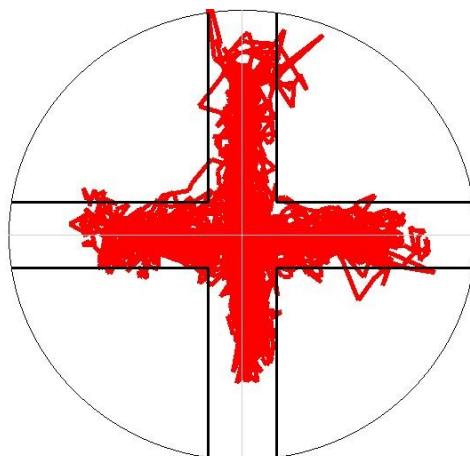
Jméno
Příjmení
Datum předání pomůcky
Datum odevzdání pomůcky
Cvičící program
Délka cvičení
Celkový počet cvičení
Stupně 3°



Jméno
Příjmení
Datum předání pomůcky
Datum odevzdání pomůcky
Cvičící program
Délka cvičení
Celkový počet cvičení
Stupně 15°



Jméno
Příjmení
Datum předání pomůcky
Datum odevzdání pomůcky
Cvičící program
Délka cvičení
Celkový počet cvičení
Stupně 10°



Jméno

Příjmení

Datum předání pomůcky

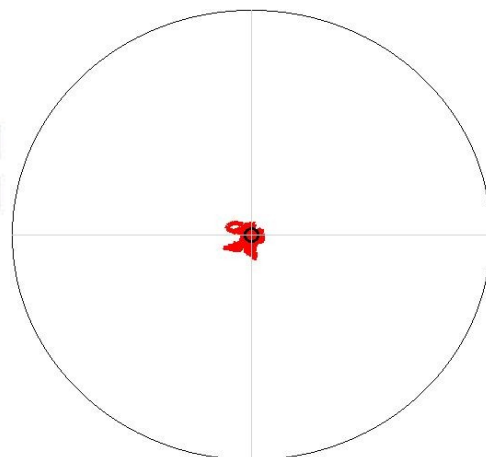
Datum odevzdání pomůcky

Cvičící program

Délka cvičení

Celkový počet cvičení

Stupně 1°



Jméno

Příjmení

Datum předání pomůcky

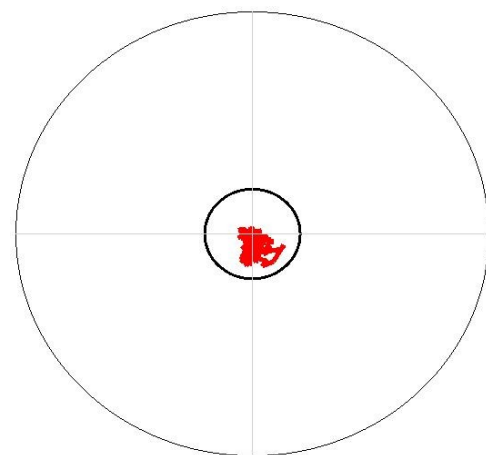
Datum odevzdání pomůcky

Cvičící program

Délka cvičení

Celkový počet cvičení

Stupně 7°



Jméno

Příjmení

Datum předání pomůcky

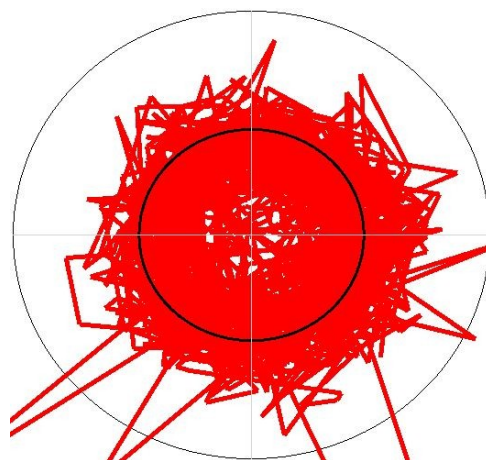
Datum odevzdání pomůcky

Cvičící program

Délka cvičení

Celkový počet cvičení

Stupně 16°



Tab 1 Ukázka z .csv souboru naměřených testovacích dat zaokrouhlených na 4 desetinná místa

| AccX | AccY | AccZ | GyrX | GyrY | GyrZ | MagX | MagY | MagZ | Čas |
|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|
| -0,0269 | 0,0547 | 0,9529 | -0,0530 | 0,0226 | 0,0093 | 0,0097 | 0,0189 | 0,0104 | 14:25:15 |
| -0,0381 | 0,0427 | 0,9265 | -0,0280 | 0,0502 | 0,0111 | 0,0099 | 0,0189 | 0,0104 | 14:25:15 |
| -0,0449 | 0,0437 | 0,9395 | -0,0134 | 0,0779 | 0,0176 | 0,0098 | 0,0192 | 0,0103 | 14:25:15 |
| -0,0730 | 0,0383 | 0,9385 | -0,0304 | 0,0489 | 0,0193 | 0,0098 | 0,0193 | 0,0101 | 14:25:15 |
| -0,0754 | 0,0278 | 0,9419 | 0,0259 | -0,0094 | 0,0177 | 0,0101 | 0,0195 | 0,0101 | 14:25:15 |
| -0,0513 | 0,0710 | 0,9424 | 0,0838 | -0,0759 | 0,0226 | 0,0097 | 0,0193 | 0,0104 | 14:25:15 |
| -0,0237 | 0,0828 | 0,9343 | 0,0211 | -0,0555 | 0,0192 | 0,0095 | 0,0189 | 0,0104 | 14:25:15 |
| -0,0354 | 0,0662 | 0,9524 | -0,0155 | 0,0006 | 0,0312 | 0,0095 | 0,0194 | 0,0109 | 14:25:16 |
| -0,0352 | 0,0659 | 0,9360 | -0,0020 | -0,0034 | 0,0123 | 0,0098 | 0,0190 | 0,0100 | 14:25:16 |
| -0,0330 | 0,0684 | 0,9504 | 0,0083 | -0,0228 | 0,0118 | 0,0095 | 0,0193 | 0,0106 | 14:25:16 |
| -0,0286 | 0,0737 | 0,9370 | -0,0106 | -0,0212 | 0,0116 | 0,0098 | 0,0189 | 0,0103 | 14:25:16 |
| -0,0283 | 0,0681 | 0,9382 | -0,0120 | -0,0372 | 0,0099 | 0,0095 | 0,0190 | 0,0104 | 14:25:16 |
| -0,0149 | 0,0640 | 0,9492 | -0,0058 | -0,0336 | 0,0101 | 0,0093 | 0,0189 | 0,0103 | 14:25:16 |
| -0,0046 | 0,0657 | 0,9351 | -0,0110 | -0,0248 | 0,0140 | 0,0095 | 0,0187 | 0,0102 | 14:25:16 |
| -0,0085 | 0,0637 | 0,9382 | -0,0197 | -0,0266 | 0,0109 | 0,0095 | 0,0186 | 0,0104 | 14:25:16 |
| 0,0098 | 0,0537 | 0,9517 | -0,0049 | 0,0002 | 0,0146 | 0,0095 | 0,0187 | 0,0102 | 14:25:16 |
| 0,0007 | 0,0566 | 0,9412 | -0,0035 | 0,0085 | 0,0135 | 0,0094 | 0,0183 | 0,0103 | 14:25:16 |
| -0,0085 | 0,0547 | 0,9387 | 0,0080 | 0,0161 | 0,0171 | 0,0098 | 0,0189 | 0,0106 | 14:25:17 |
| -0,0012 | 0,0583 | 0,9385 | -0,0011 | 0,0098 | 0,0162 | 0,0096 | 0,0187 | 0,0104 | 14:25:17 |
| -0,0037 | 0,0576 | 0,9329 | -0,0059 | 0,0063 | 0,0141 | 0,0097 | 0,0185 | 0,0102 | 14:25:17 |
| -0,0083 | 0,0605 | 0,9373 | -0,0021 | 0,0002 | 0,0141 | 0,0098 | 0,0184 | 0,0103 | 14:25:17 |
| -0,0020 | 0,0601 | 0,9424 | -0,0518 | 0,0035 | 0,0101 | 0,0090 | 0,0189 | 0,0099 | 14:25:17 |